

# LATINOAMÉRICA

Una Comunidad comprendiendo su diversidad y unidad  
con Dinámica de Sistemas



**XIII Congreso Latinoamericano y Encuentro  
Colombiano de Dinámica de Sistemas**



Universidad  
de Cartagena  
Fundada en 1827

Universidad de Cartagena - Universidad Jorge Tadeo Lozano  
Cartagena de Indias - Colombia  
Octubre 21, 22 y 23 de 2015



ISBN: 978-958-46-8355-7



## PRESENTACIÓN

El Capítulo latinoamericano de la System Dynamics Society, ha organizado anualmente su congreso para convocar a la comunidad a la permanente cualificación y al fortalecimiento de sus vínculos dentro de la misma. Hace trece años iniciamos este esfuerzo, con el primer congreso en el Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey y a la fecha, se han llevado a cabo trece congresos en los países de México, Chile, Colombia, Brasil y Argentina.

Así en Octubre de 2015, en la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia, se realizó el XIII Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas; reuniendo a más de 150 investigadores, profesionales, educadores y estudiantes; en la Universidad de Cartagena y la Universidad Jorge Tadeo Lozano, para dar cuenta del nivel de comprensión que con Dinámica de Sistemas hoy se tiene de la diversidad de asuntos de carácter social, económico, ambiental, educacional, de la salud, de la industria, del campo, de la ciudad, de la guerra y de la paz, y de todo aquello pertinente al devenir de la unidad latinoamericana.

La presente memoria consigna los trabajos que fueron aceptados y presentados en este congreso y constituye una significativa muestra del presente de una comunidad que florece en su dinámica de crecimiento.

**COMITÉ EJECUTIVO**  
XIII Congreso Latinoamericano y Encuentro  
Colombiano de Dinámica de Sistemas

Gloria Pérez Salazar.  
Jorge Andrick Parra Valencia.  
Isaac Dyner Rezonzew.  
Hugo Hernando Andrade Sosa.



**Comunidad Colombiana  
de Dinámica de Sistemas**



Estas Meomorias hacen parte del material del XIII Congreso Latinoamericano y Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, realizado en la ciudad de Cartagena de Indias – Colombia, los días 21, 22 y 23 de octubre de 2015. En este se recopilan todos los resúmenes de los artículos de las ponencias presentadas durante la realización del evento.

**ISBN: 978-958-46-8355-7**

Edición y diagramación

**JOSÉ LUIS DÍAZ POLENTINO**

Diseñador Industrial - UIS

Grupo SIMON UIS

## AUTORES DE LAS PONENCIAS

Abdías Gómez Duarte  
Adriana Acosta  
Alberto Stanislao Atzori  
Aldo Gonzáles Oré  
Alfonso Sarmiento  
Ana Yuri Viviana Rojas Forero  
Andrés Felipe Salazar Ramos  
Andrés Felipe Cardona Triana  
Andrés Felipe Ruiz  
Andrés Leonardo Caicedo  
Andres Paredes Rodriguez  
Angelica Martínez Rincón  
Angelo Hernández García  
Angie Alejandra Azcárate Zambrano  
Asunción Díaz  
Aura Paola Moreno Monsalve  
Carlos Alfredo Salazar Hernández  
Carlos Anibal Vasquez Cardozo  
Carlos Hidalgo  
Carlos Jaime Franco  
Carlos Scheel  
Cecilia José Verissimo  
Celina Teresa Forero Almanza  
Cesar Jaramillo  
Claudia Álvarez  
Claudia Lorena Salgado Sánchez  
Claudio Gajardo  
Clímaco Raúl Burbano  
Cristian Antonio Martínez Fonseca  
Cristian Felipe Torres Ladino  
Danny Waldir Ibarra Vega  
Delio Salgado  
Diana Rocio Alarcón Grisales  
Diego Alejandro Díaz  
Diego Fernando Angulo Mesa  
Diego Fernando Pescador Guapacha  
Diego Leon Peña Orozco  
Edgar Gutierrez Franco  
Edith González Afanador  
Eduardo Aguiñaga  
Eduardo Pedro Fracassi  
Eliécer Pineda Ballesteros  
Elsa Cristina González  
Ernesto Alonso Lagarda Leyva  
Fabián Rene Trochez Ramírez  
Fabio Vasquez  
Farley Alonso Naranjo Ossa  
Feizar Javier Rueda Velasco  
Fernando Antonio Arenas Guerrero  
Francisco Javier Rivera Rozo,  
Francisco Ther  
Gabriel Awad  
Galicia Stuardo  
Geraldinne Gonzalez  
Gerard Olivar  
Gerardo Muñoz Mantilla  
Gerardo Rodriguez  
Gloria Pérez Salazar  
Gonzalo Sterling Londoño  
Grace Quiceno  
Hugo Hernando Andrade Sosa  
Hugo Sánchez Guerrero  
Irene Ayala Arboleda  
Isaac Dyer Rezonzew  
Isabel Cristina Gómez Ramírez  
Isabel Polanía Balcázar  
Ixhel Mejías  
Jaime Cursach  
Javier Arturo Orjuela Castro  
Javier Ingaroca Salas  
Javier Portugal Vásquez  
Jessica Andrea Franco López  
Jessica Mora  
Jesus Hernan Echeverria Bedoya  
Jhonny Castañeda  
Johan E. Vega  
Johan Manuel Redondo  
John Castiblanco  
John Mario Osorio Trujillo  
John Pastrana  
Johnny Valencia Calvo  
Jorge Luis Payán Quevedo  
Jorge Velez Castiblanco  
Jorge Andrick Parra Valencia  
Jormary Noguera Muñoz  
Jose Cintron  
José Navarro Campos  
Juan Carlos Osorio Gómez

Juan Carlos Osorio Pantoja  
Juan David Grajales  
Juan Pablo Tribín Rivera  
Juan Sebastián Angarita Zapata  
Juan Sebastián López Lasprilla  
Juan Sebastian Sánchez  
Julián Chinchilla  
Julieth Vera  
Julio Pardo Figueroa Yábar  
Katerine Rojas  
Kelly Andrea Peláez Mejía  
Laura Marcela Ruiz Galán  
Laura Mejía Duque  
Laura Nathaly Zamora Sánchez  
Laura Noreña  
Laura Ospina Quiroz  
Leonardo González  
Leonardo Rivera  
Leonardo Rodríguez  
Liseth Bustos Torres  
Lorenzo Andrade  
Lucelly López  
Luciano Gallón  
Luis Alberto Ambrósio  
Luis Antonio Quintero Ortiz  
Luis Camilo Carvajal Echeverri  
Luis Eduardo Guerra González  
Luis Manuel Mesa Mendivelso  
Luis Rabelo  
Luisana García  
Marcela González González  
María Adelaida Torres Sánchez  
María Alejandra Martínez  
María C. Alvarez  
María Del Pilar Lizardi Duarte  
Mario Marín  
Martin Schaffernicht  
Mauricio Becerra Fernández.  
Milton Mauricio Herrera Ramírez  
Mónica Alexandra Sánchez Gómez  
Mónica Castañeda  
Natalia Martínez R  
Nickson Alejandro Hernández  
Olga Rosana Romero Q  
Omar Julian Florez Morales  
Oscar Eduardo Florez Pareja

Oscar Rubiano  
Pablo Andrés Saldarriaga Aristizábal  
Paola Andrea Prado Ramos  
Paula Hernández  
Raúl Andrés Molina Benavides  
Ricardo Rodríguez Ulloa  
Robert Provine  
Ruth Florez Huicho  
Sandra Lucia Muñoz Guevara  
Santiago Camargo Rodriguez  
Sebastian Zapata  
Sergio Steven Apolinar Ortega  
Silvio Martínez Vicente  
Stefany Garcia  
Steven Ricardo Mora González  
Tatiana Rodriguez  
Valentina Alzate Carmona  
Valentina Chaparro Muñoz  
Vicente Ramirez  
Victor Hugo Hernandez  
Victor J. Escallon  
Vivian Lorena Chud  
Vladimiro Huaytán Jaramillo  
Walter Cárdenas Arbieto  
Wilmer Andrés Palomino Arguello  
Yolanda Plazas Mosquera  
Yony Fernando Ceballos  
Yuliana Acevedo Sánchez

# ORGANIZADORES DEL XIII CONGRESO LATINOAMERICANO Y ENCUENTRO COLOMBIANO DE DINÁMICA DE SISTEMAS

## COMITÉ JECUTIVO

**GLORIA PÉREZ SALAZAR**

Tecnológico de Monterrey

**HUGO ANDRADE SOSA**

Universidad Industrial de Santander

**ISAAC DYNER REZONEW**

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

**JORGE ANDRICK PARRA VALENCIA**

Universidad Autónoma de Bucaramanga

## COMITÉ ACADÉMICO

**GLORIA PÉREZ SALAZAR**

Tecnológico de Monterrey (México)

**HUGO ANDRADE SOSA**

Universidad Industrial de Santander (Colombia)

**ISAAC DYNER REZONEW**

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Colombia)

**JORGE ANDRICK PARRA VALENCIA**

Universidad Autónoma de Bucaramanga (Colombia)

**CAMILO OLAYA**

Universidad de los Andes (Colombia)

**RICARDO MATOS CHAIN**

Universidade de Brasília (Brasil)

**FABIAN SZULANSK**

Instituto tecnológico de Buenos Aires (Argentina)

**ROY ZÚÑIGA SÁENZ**

INCAE Business School (Costa Rica)

**CARLOS FRANCO**

Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín (Colombia)

**RICARDO RODRÍGUEZ ULLOA**

IAS (Perú)

**DOLORES SOTO**

Universidad de Valladolid (España)

**MARTÍN SCHAFFERNICHT**

Universidad de Talca (Chile)

**CLAUDIA ÁLVAREZ**

Universidad EAFIT (Colombia)

**JOHAN MANUEL REDONDO**

Universidad Sergio Arboleda (Colombia)

**COMITÉ ORGANIZADOR DE SEDE**

**AMAURY CABARCAS ÁLVAREZ**

Universidad de Cartagena

**GINA PAOLA MAESTRE GONGORA**

Universidad Del Norte.

**PLINIO PUELLO MARRUGO**

Universidad de Cartagena

**HUGO HERNANDO ANDRADE SOSA**

Universidad Industrial de Santander

**INSTITUCIONES ORGANIZADORAS**

Universidad de Cartagena (Colombia).  
Universidad Jorge Tadeo Lozano (Colombia).  
Universidad de Talca (Chile).  
Universidad de los Lagos (Chile).  
Tecnológico de Monterrey (México).  
INCAE (Costa Rica).  
Instituto Tecnológico de Buenos Aires ITBA (Argentina).  
Universidad Industrial de Santander (Colombia).  
Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (Colombia).  
Universidad Autónoma de Bucaramanga (Colombia).  
Universidad de la Sabana (Colombia).  
Universidad Sergio Arboleda (Colombia).  
Universidad del Valle (Colombia).  
Universidad de Antioquia (Colombia).  
Universidad del Magdalena (Colombia).  
Universidad Distrital (Colombia).  
Universidad de los Andes (Colombia).  
Universidad del Cauca (Colombia).  
Universidad de Nariño (Colombia).  
Universidad de Pamplona (Colombia).  
Universidad de los Andes (Colombia).  
Universidad Piloto de Colombia.

**SEDE DEL EVENTO**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**



**Universidad  
de Cartagena**  
Fundada en 1827

Y

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO, SECCIONAL DEL CARIBE**





**Comunidad Colombiana  
de Dinámica de Sistemas**

## TABLA DE CONTENIDO

1 APRENDIZAJE DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS MEDIADO POR TI .....	15
2. DINÁMICA EVOLUTIVA DO CARRAPATO DO BOI (BOOPHILUS MICROPLUS) .....	23
6. MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA PARA EVALUAR IMPACTOS DE EXTRACCIÓN DE MATERIALES DE ARRASTRE.....	33
7. SCENARIO ANALYSIS FOR COMPLEX DECISIONS.....	41
8. DYNAMIC ESTIMATION OF THE CARBON FOOTPRINT FOR A DUAL PURPOSE CATTLE .....	51
10. DYNAMIC SIMULATION OF THE IMPACT OF A POLICY OF VOLUME FLEXIBILITY IN A PAPAYA'S SUPPLY CHAIN .....	59
11. HOW CAN QUALITATIVE ANALYSIS OF SMALL MODELS IMPROVE THE STUDY OF BIGGER ONES. A VIEW FOR SYSTEM DYNAMICS. ....	71
12 DINÁMICA DE SISTEMAS COMO HERRAMIENTA PARA EL APRENDIZAJE Y TOMA DE DECISIONES EN UN SISTEMA PRODUCTIVO DE PISCICULTURA .....	79
13. MICROMUNDO MATIB 1.0 COMO HERRAMIENTA DE APOYO AL PROCESO DE APRENDIZAJE DE LAS MATEMÁTICAS PARA LA EDUCACIÓN PREESCOLAR .....	89
15. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA FINANCIERA Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DEL SISTEMA GENERAL DE SEGURIDAD SOCIAL EN SALUD PARA EL RÉGIMEN SUBSIDIADO Y CONTRIBUTIVO EN BOGOTÁ A TRAVÉS DE DINÁMICA DE SISTEMAS.....	95
16. MODELO HIBRIDO PULL Y PUSH EN EL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES, EMPLEANDO DINAMICA DE SISTEMAS. ...	107
17. DYNAMIC EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF REVERSE LOGISTICS OF TIRES.....	117
18. AN APPROACH FROM SYSTEM DYNAMICS TO THE ADOPTION OF E-GOVERNMENT .....	129
19. ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL DE RECURSOS EN EL SUBSISTEMA DE BÚSQUEDA Y RESCATE DEL SISTEMA LOGÍSTICO HUMANITARIO COLOMBIANO A TRAVÉS DE UN MODELO DINÁMICO.....	141
21. ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS TIPOS DE CLIENTES DEL SMARTPHONE EN LAS ETAPAS DE PRE Y POST LANZAMIENTO.....	147
22. APPLYING SYSTEMS DYNAMICS FOR LEARNING AND TERRITORIAL MANAGEMENT: THE CASE OF THE ESTUARY OF MAULLIN RIVER (REGIÓN DE LOS LAGOS, CHILE) .....	159
25. COMPARACIÓN DINÁMICA DE LAS DIFERENTES POLÍTICAS DE CONTROL DE INVENTARIOS PARA UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE DESECHABLES .....	167
26. ESTUDIO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS BAJO APROVECHAMIENTO Y SU IMPACTO EN LA VIDA ÚTIL DE UN RELLENO SANITARIO .....	177
27. ANALYSIS OF POPULATION AND ECONOMIC DYNAMICS OF AN INFRASTRUCTURE PROJECT FROM DS .....	185
29. UN ENFOQUE DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS PARA COMPRENDER LA DISTORSIÓN CAMBIARIA EN VENEZUELA.....	193
31. SOSTENIBILIDAD REGIONAL: UN MODELO CONCEPTUAL PARA RELACIONAR DISEÑO, CULTURA Y TERRITORIO EN EL ABORDAJE DE PROYECTOS CON IDENTIDAD LOCAL.....	205
32. DYNAMIC ANALYSIS OF THE RESPONSE CAPACITY A SUPPLY CHAIN TECHNOLOGY PRODUCTS .....	213
33. SEIS MICROMUNDOS PARA ENSEÑAR, INCENTIVAR Y FORTALECER EL PENSAMIENTO SISTÉMICO .....	223
35. MODELAMIENTO DEL APROVECHAMIENTO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE NEUMÁTICOS USADOS.....	229
39. MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS PARA UN DISTRITO DE RIEGO.....	241
42. DETERIORO DEL SUELO FRANCO ARCILLOSO EN CULTIVOS DE ARROZ SECANO POR EL USO DE PLAGUICIDAS Y PESTICIDAS .....	247
45. SUPPLY CHAIN DECISION MAKING: A SYSTEM DYNAMICS APPROACH .....	253
50. CONSTRUCCIÓN DE VÍAS Y CONGESTIÓN VIAL: UNA RELACIÓN QUE GENERA EFECTOS CONTRA-INTUITIVOS .....	263
51. A SIMULATION MODEL OF RICE PRODUCTION, PROCESSING AND CONSUMPTION IN VENEZUELA .....	273

52. CONTROL DE LA POBLACIÓN DE PALOMAS (COLUMBA LIVIA) EN LA PLAZA DE BOLÍVAR DE BOGOTÁ D.C. ....	285
53. MODELO CONCEPTUAL DE LA IMPORTANCIA DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES EN LA EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO EN COLOMBIA .....	293
54. APROXIMACIÓN A LA TRANSMISIÓN DE TUBERCULOSIS EN UN CENTRO PENITENCIARIO EN MEDELLÍN DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS .....	299
55. A SIMULATION MODEL OF FOREIGN TRADE OF RICE .....	305
56. SERVICE QUALITY AND FINANCIAL SUSTAINABILITY OF A MASS TRANSIT SYSTEM .....	319
57. MODELING ENVIRONMENTAL ISSUES IN THE SUPPLY CHAIN OF ADOBE .....	325
58. DINÁMICA DE SISTEMAS: PROPUESTA DE MEJORA PARA INDICADORES DE SERVICIO AL CLIENTE EN PUNTOS DE ATENCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO. ....	333
59. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	339
60. MODELO DINÁMICO PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL COMPONENTE ORGÁNICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS. ....	345
61. EVALUACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES .....	351
63. SIMULACIÓN DE MECANISMOS DE INTEGRACIÓN EXTERNA EN LA CADENA AGROINDUSTRIAL DE MORA DE BOGOTÁ-CUNDINAMARCA. UNA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO LOGÍSTICO. ....	357
64. MODELO DINÁMICO DE SISTEMAS QUE ANALIZA LA COBERTURA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA. ....	365
65. MODELAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA DE UN LAGO COMPLETAMENTE MEZCLADO .....	375
66. ENVIRONMENTAL AND SECURITY CHALLENGES OF ELECTRICITY MARKETS.....	379
67. DEVELOPING A REGIONAL CIRCULAR VALUE ECOSYSTEM: THE CASE OF HIGUERAS, MEXICO .....	387
71. INCLUSION MODEL FOR FAMILY FARMING .....	399
73. PROBLEMAS DEL TRÁFICO DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE LIMA .....	409
74. IMPACT ANALYSIS ON PROFITS FOR PRODUCERS IN THE AGRICULTURAL SUPPLY CHAIN OF THE VILLAGE OF MONTERREY AT USE A COLLECTION CENTER .....	419
75. PLANNING OF CAPACITIES OF A LOGISTIC OPERATOR IN DISTRIBUTION CENTERS .....	429
76. SELECCIÓN DE PROYECTOS UTILIZANDO EL CONOCIMIENTO: UN CASO DE ESTUDIO EN VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS .....	437
77. RENEWABLE ELECTRICITY: THREATS AND OPPORTUNITIES FOR UTILITIES .....	443
78. ENTORNO LABORAL: UN ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS Y SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES .....	451
79. MODELO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS LISTAS DE ESPERA EN PACIENTES DE CIRUGÍAS ELECTIVAS EN EL SISTEMA DE SALUD COLOMBIANO.....	457
80. DECISION-MAKING FRAMEWORKS USING SYSTEM DYNAMICS: EXAMPLES IN VALUE CHAIN MANAGEMENT AND OPERATIONAL INNOVATION. ....	467
82. MODELAMIENTO DINÁMICO DEL PROCESO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO DE MANGO DE LAZO CERRADO .....	473
83. AGRICULTURA LEAN EN COLOMBIA: ANÁLISIS MEDIANTE DINÁMICA DE SISTEMAS LEAN AGRICULTURE IN COLOMBIA: USING SYSTEM DYNAMICS ANALYSIS. ....	479
84. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SERVICIO DE SALUD EN LA ATENCIÓN DE PACIENTES EN BOGOTÁ .....	489
85. ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES EN LA AVENIDA REGIONAL DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN .....	497
86. MODELO DE MICRO-HUERTA CASERA INTEGRANDO DINÁMICA DE SISTEMAS Y OPTIMIZACIÓN.....	505

87. AMBIENTE VIRTUAL CON DINÁMICA DE SISTEMAS PARA EL APRENDIZAJE DEL SISTEMA PRODUCTIVO DE PECES EN ESTANQUE.....	515
88. MODELING THE EVOLUTION OF RESOURCES AND CAPABILITIES OF UTILITIES IN THE TRANSFORMATION OF THE POWER INDUSTRY.....	525
89. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRANSFORMACIÓN TECNOLÓGICA EN EL MERCADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COLOMBIANO.....	531
89. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRANSFORMACIÓN TECNOLÓGICA EN EL MERCADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COLOMBIANO.....	539
90. SYSTEMS DYNAMICS SIMULATION FOR INOTROPIC SUBSTANCES.....	547
91. CONCEPCIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA EN SALUD PÚBLICA, UNA MIRADA DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS.....	553
92. MODELAMIENTO DINÁMICO DE FACTORES DE ÉXITO DE UN SISTEMA DE EMPRENDIMIENTO.....	563
94. GESTIÓN ESTRATÉGICA DINÁMICA DE GAS NATURAL A LARGO PLAZO MEDIANTE LA SOFT SYSTEM DYNAMICS METHODOLOGY (SSDM): EL CASO PERUANO.....	571
95. TALLER DE SENSIBILIZACION DE CAMBIO CLIMATICO.....	583
96. MODELAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL HUMEDAL CÓRDOBA.....	585
97. RISK ANALYSIS OF FRUIT SECTOR IN GUADALAJARA DE BUGA MIDDLE RURAL AREA, DUE TO TRANSPORT BY ROAD DETERIORATION.....	591
98. IMPACTO DEL ALMACENAMIENTO EN LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA INTERCONECTADO COLOMBIANO, ANTE LA ENTRADA DE GENERACIÓN INTERMITENTE.....	597
99. INTERVENCIÓN COMO JUEGOS DE LENGUAJE.....	605
101. DE PROBLEMAS UNIVERSALES A PREOCUPACIONES INDIVIDUALES: LA GESTIÓN SISTÉMICA DE LA COOPERACIÓN EN LOS RECURSOS COMUNES.....	611
102. LA DINÁMICA DEL PESO SEGÚN LA DIETA Y EL EJERCICIO.....	613



# 1 APRENDIZAJE DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS MEDIADO POR TI

**ELIÉCER PINEDA BALLESTEROS**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bucaramanga - Colombia  
prf.pineda@gmail.com

## RESUMEN

En este artículo se presenta una experiencia de uso de las TI en procesos de formación en modelado con dinámica de sistemas en la metodología de educación a distancia. Inicialmente se hace una presentación de la manera en que se diseña y gestiona un curso de dinámica de sistemas, partiendo de la descripción del esquema tradicional educativo para llegar al curso implementado bajo la metodología de la educación a distancia. Seguidamente se presenta un caso de estudio mediante la descripción del acompañamiento de un grupo típico, mostrándose cómo se van desarrollando una serie de trabajos colaborativos alrededor de un proyecto de curso. Finalmente se llega a unas conclusiones en términos de lo que implica el uso de las TI para el aprendizaje de dinámica de sistemas.

**PALABRAS CLAVE:** DINÁMICA de sistemas, modelado, aprendizaje, entornos virtuales de aprendizaje, tecnologías de la información.

## I. INTRODUCCION

En los últimos años ha habido un interés por parte de los centros de educación superior por hacer uso de las TI como instrumentos que permitan acercar las instituciones de educación a la mayor cantidad posible de personas [1].

Históricamente la manera como se ha enseñado en las universidades ha sido usando el método tradicional de la presencialidad cuya característica principal es el papel preponderante y activo de un maestro que expone los conocimientos a sus alumnos, básicamente pasivos, constituyéndose estos en receptores de información que deben estar atentos para dar cuenta de lo aprendido a través de los métodos tradicionales de evaluación.



Figura 1. Educación Tradicional<sup>1</sup>.

Los modelos tradicionales de educación fueron inspirados en las propuestas teóricas de autores como Skinner y otros que atribuían a la repetición y a la estimulación de los alumnos, parte de las contribuciones de los principios skinnerianos son la definición y delimitación de objetivos educativos, la enseñanza personalizada, la modificación de conducta e incluso la instrucción asistida por computador; a este método se le conoce como la enseñanza bancaria [2].

En este sentido [3] plantean la existencia de cuatro principios didácticos identificados en este modelo: Aprendizaje dirigido por el profesor; aprendizaje de una clase relativamente estandarizada adaptada al alumno "promedio"; aprendizaje temáticamente orientado; y silencio de los que aprenden para que se oiga la voz del profesor. Estos modelos de educación tradicional requieren de ambientes de aprendizaje caracterizados por requerimientos como la sala de clases relativamente pequeña, el orden frontal de los asientos de los alumnos que permite al profesor una visión general, sobretodo, cuando su asiento está puesto en una tarima; y permite a los alumnos dirigir la mirada hacia la pizarra o hacia un telón o pantalla de proyección.

<sup>1</sup>Fuente:  
[https://carlosmagro.files.wordpress.com/2012/11/4264216476\\_dbd32481d1\\_b.jpg](https://carlosmagro.files.wordpress.com/2012/11/4264216476_dbd32481d1_b.jpg)

Siguiendo esta lógica, ha habido intentos relatados en artículos [4] que muestran cómo es posible fomentar, a través del uso de un ambiente virtual de aprendizaje, el desarrollo de competencias de toma de decisiones a través del aprendizaje de dinámica de sistemas y con dinámica de sistemas. Si bien hay una pregunta por el efecto de usar la dinámica de sistemas para desarrollar ciertas habilidades, no hay una pregunta específica por cómo aprenderla, la dinámica de sistemas, en un ambiente virtual.

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), ofrece la mayor parte de sus cursos en entornos virtuales denominados AVA (Ambientes Virtuales de Aprendizaje). Dentro del programa de ingeniería de sistemas se oferta el curso de Dinámica de Sistemas el cual tiene un promedio semestral de 300 estudiantes atendidos por un tutor y un director de curso.

La UNAD [5] ha diseñado un modelo pedagógico mediado por las TI, que promueve el aprendizaje autónomo, significativo y colaborativo, fundamentado teóricamente en el constructivismo social y los paradigmas crítico social y ecológico formativo, materializado este a través del uso de la plataforma de aprendizaje Moodle.

Los cursos AVA se componen de 6 entornos de interacción e interactividad sincrónica y asincrónica, que permiten a los actores educativos aumentar el uso flexible de los materiales didácticos, emplear diferentes metodologías y estrategias pedagógicas, optimizar los recursos educativos y con ello, mejorar sus resultados académicos [6].

El primero de ellos, el Entorno de Conocimiento, pone a disposición del estudiante contenidos académicos digitalizados en múltiples formatos que le llegan mediante multicanales estructurados y centrados en el elemento curricular medular del problema cognitivo que se concreta en el Syllabus, las Guías, las Agendas, etc. En segunda instancia se tiene el Entorno de Aprendizaje Colaborativo, escenario que posibilita la realimentación e interacción sincrónica y asincrónica de los estudiantes, organizados en pequeños grupos, y el tutor. De este trabajo académico realizado a través de foros, chats y redes sociales y de la afirmación del aprendizaje empleando Web-Conferencias, radio, televisión IP, etc., se genera la construcción social del conocimiento produciéndose de esta manera un aprendizaje significativo y auto gestionado.

El siguiente es el Entorno de Aprendizaje Práctico, contexto educativo creado para el ejercicio guiado del estudiante donde aplica los conocimientos adquiridos durante el proceso formativo. En este escenario se posibilita incorporar laboratorios remotos accesibles a los estudiantes que usan simuladores de eventos reales, realidad aumentada, televisión IP, etc.

En el Entorno de Seguimiento y Evaluación del Aprendizaje se realiza el acompañamiento sincrónico y asincrónico del proceso formativo del estudiante mediante la tutoría y la consejería virtual; este ambiente está diseñado para la evaluación continua, formativa y sumativa del aprendizaje.

Finalmente está el Entorno de Gestión del estudiante, que es un contexto de vital importancia para él, pues le facilita realizar todos los trámites propios del proceso educativo [7].

En el Entorno de Información Inicial se tienen todos los referentes del curso como las agendas, los foros de noticias, las agendas, etc.



Figura 2. Ambiente Virtual de Aprendizaje.

## II. CARACTERÍSTICAS DEL CURSO VIRTUAL

Como se señalara en el apartado anterior, el curso cuenta con 6 ambientes de los cuales se mostrarán en esta ponencia básicamente tres que son los de mayor impacto en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

El primer entorno es el de conocimiento el cual está organizado por unidades de conocimiento, para el caso del curso de dinámica de sistemas, estas son: unidad 1, conceptualización sobre sistemas y modelos, unidad 2, diagramas de Forrester y unidad 3, toma de decisiones apoyada con simulación. Además de los contenidos que deben ser estudiados por los estudiantes, estos tienen a su disposición el syllabus del curso, la guía integradora de actividades y la rúbrica analítica de evaluación, dispositivos diseñados para facilitar la auto-gestión del aprendizaje.



Figura 3. Entorno de Conocimiento.

En este entorno de conocimiento el estudiante tiene a su disposición una serie de materiales, en diferentes formatos, que deben ser estudiados y apropiados de tal forma que luego pueda usar, los conceptos apropiados, en la realización de los trabajos colaborativos y en la resolución de exámenes en línea. Si una vez consultados los materiales de estudio el aprendiente tiene alguna inquietud, este tiene la posibilidad de hacer la consulta a su tutor ya sea de forma sincrónica, a través de chats o web-conferencias, o de forma asincrónica, usando para ello los correos electrónicos o los foros.



Figura 4. Material de estudio y consulta.

Otro de los entornos importantes es el de evaluación y seguimiento en el cual los estudiantes presentan, en línea, los diferentes tipos de evaluación que el curso les presente. Para el caso de dinámica de sistemas los estudiantes deben presentar tres pruebas objetivas cerradas, para ello tienen unos tiempos establecidos que se incluyen en la agenda del curso. En este entorno se le informa al estudiante el resultado de los trabajos colaborativos. Las pruebas son cuestionarios que buscan determinar qué tanto se ha apropiado los conceptos fundamentales de la dinámica de sistemas, esenciales luego en el abordaje del proceso de modelado.

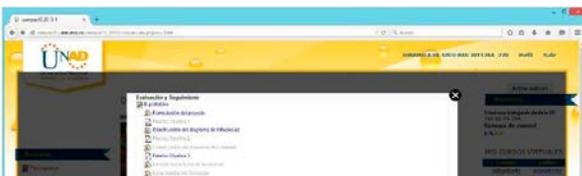


Figura 5. Entorno de evaluación.

El tercero y más importante de los entornos es el de aprendizaje colaborativo. En este entorno se pone en práctica la estrategia de aprendizaje que el docente, director de curso, haya escogido, entre ellas la basada en proyectos que es la que se usa en este curso. Este curso propone la formulación de un proyecto de modelado y simulación que aborde una problemática local, acorde a la orientación social y comunitaria de la UNAD.



Figura 6. Entorno de evaluación.

En este entorno se desarrolla uno de los pilares fundamentales de los cursos de la UNAD, los trabajos colaborativos, espacios diseñados bajo los postulados del aprendizaje autónomo, aprendizaje significativo y el constructivismo social, posibilitando así que el estudiante alcance la construcción social del conocimiento.

En lo que sigue se ilustrará un ejemplo que mostrará la manera en que se desarrolla la interacción entre estudiantes y docente en el proceso de construir el conocimiento orientado bajo la estrategia de aprendizaje basado en proyectos [8], [9]. El aprendizaje basado proyectos se caracteriza porque se centra en los conceptos y principios de una disciplina, implica a los estudiantes en investigaciones de solución de problemas y otras tareas significativas, esto les permite trabajar de manera autónoma para construir su propio conocimiento y culmina en productos objetivos y realistas. En este aprendizaje los estudiantes planean, implementan y evalúan proyectos que tienen aplicación en el mundo real, mediante actividades de aprendizaje interdisciplinarias, de largo plazo y centradas en el estudiante [10].

### III. CASO DE ESTUDIO

En esta Sección se muestra un caso de estudio, en donde un grupo de estudiantes desarrollan un proyecto semestral relacionado con el modelado del problema de la disposición de basuras.

Los estudiantes deben abordar la solución de un problema mediante la estrategia de aprendizaje basado en proyectos en cinco momentos durante el semestre. El primero de ellos es la construcción de un anteproyecto en donde el grupo de manera colaborativa,

usando principalmente el foro, construyen la propuesta, la cual va siendo realimentada por el tutor y al final del tiempo establecido se hará una valoración del mismo y se realizará una realimentación en procura del mejoramiento de la propuesta.

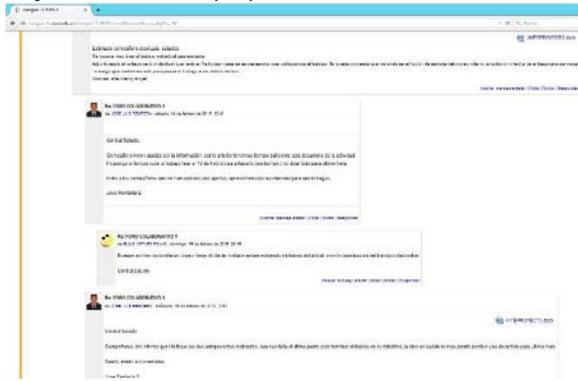


Figura 7. Momento 1, elaboración del anteproyecto.

En el segundo momento los estudiantes comienzan el diseño del diagrama de influencias que represente el fenómeno modelado, también usando el foro y las realimentaciones tanto del tutor como de los demás compañeros del grupo; en este momento se insiste a los estudiantes para que escojan variables que sean cuantificables y que incluyan en sus descripciones los ciclos de realimentación. Se supone que los estudiantes van leyendo los materiales dispuestos en el entorno de conocimiento y lo que hacen en los foros es ir haciendo sobre la base de lo leído y las orientaciones del tutor. Este momento finaliza con la entrega del diagrama de influencias, que luego de ser revisado por el tutor, lo regresa al grupo con las observaciones del caso y una valoración numérica del trabajo.

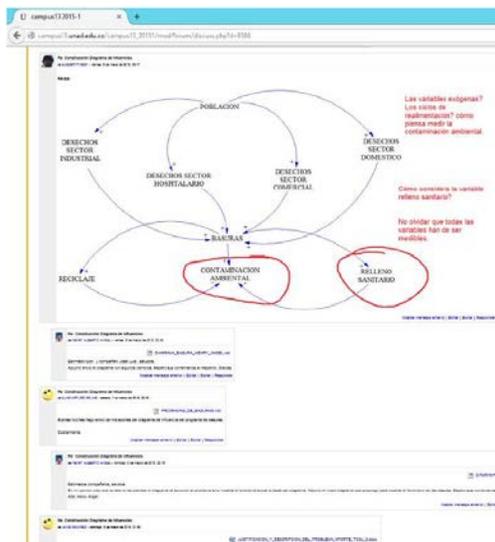


Figura 8. Momento 2, construcción del diagrama de influencias.

Una de las situaciones recurrentes en los estudiantes es la no inclusión de los ciclos de realimentación y la dificultad que presentan para identificar relaciones de material de las relaciones de información. A medida que el tutor hace las observaciones sobre la construcción del diagrama comienzan a prestar atención y van logrando identificar qué tipo de relación es y por tanto aumentan su capacidad para ir identificando los ciclos de realimentación en el modelo.

Al final el grupo de aprendizaje colaborativo, luego de las interacciones entre los miembros del grupo y el tutor, logra desarrollar un diagrama de influencias como el que sigue.

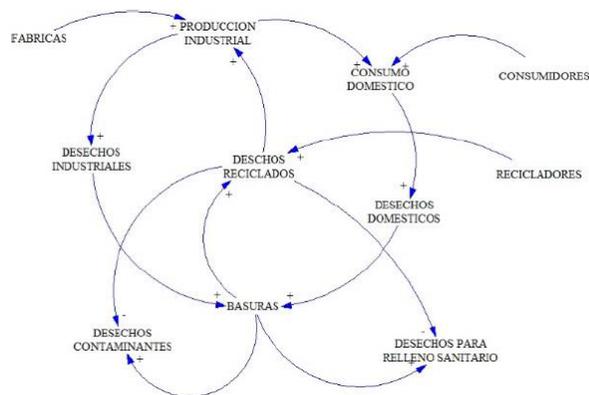


Figura 9. Diagrama de influencias entregado por los estudiantes.

En este diagrama se nota el trabajo del grupo colaborativo. Es evidente que el diagrama aún no está completo, pues le faltan ciclos de realimentación por identificar, pero resulta siendo un buen trabajo de estudiantes neófitos en el asunto del modelado y más aún si se tiene en cuenta que gran parte del conocimiento requerido es apropiado por el estudiante de forma auto-gestionada.

En el tercer foro colaborativo los estudiantes construyen el diagrama de Forrester, esto se hace de la misma manera que han venido trabajando en los dos foros previos. En este caso los estudiantes se enfrentan al desafío de convertir el diagrama de influencias en el diagrama de Forrester. Es habitual encontrar que los estudiantes tienen problemas en comprender las nociones de acumulación y razón de cambio, incluso suele suceder que en ocasiones las comprenden y usan de forma contraria. Otra situación muy frecuente es que no son conscientes de respetar la ley de la conservación de la materia siendo habitual en ellos que conecten niveles que contienen diferentes cosas. Los estudiantes

en este curso no alcanzan a utilizar conceptos como retardos y tablas, evidentemente esto los limita como modeladores, pero se ha optado por no incluirlos dado la complejidad que para ellos implica comprender los conceptos de flujo y nivel y usarlos de forma adecuada para representar de manera adecuada los fenómenos que están modelando. Es bastante común también que conecten de forma lineal una serie de variables auxiliares cuando esto usualmente no tiene sentido; igualmente se les dificulta hacer que el modelo sea consistente desde el punto de vista dimensional.

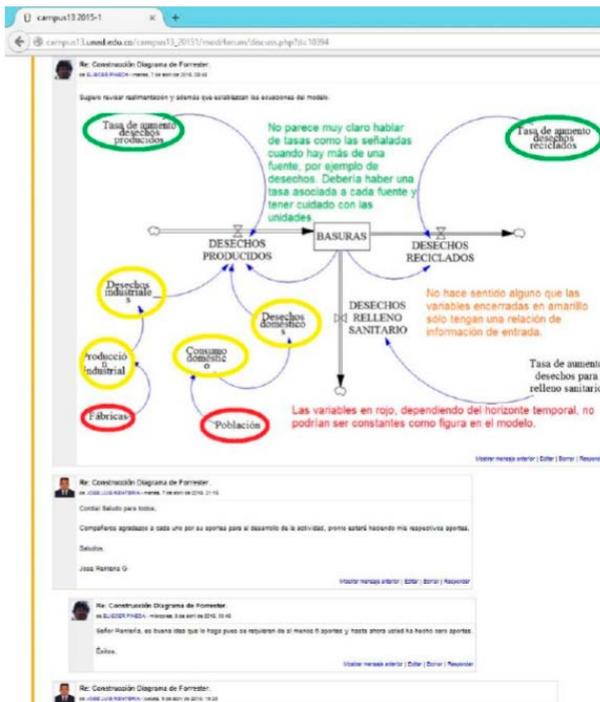


Figura 10. Momento 3, construcción del diagrama de Forrester.

El trabajo colaborativo requiere de un ejercicio continuo de parte de los estudiantes. Suele suceder que un buen número de los estudiantes dejan para participar a última hora, esto naturalmente trae las consecuencias consabidas, es decir, que la calidad de los modelos construidos es muy pobre, al igual que la apropiación de los conceptos básicos. Frente a esta situación se opta por enviar correos electrónicos invitándolos a participar en el foro; de hecho hay una normatividad institucional que regula el trabajo colaborativo y establece como mínimo que un estudiante debe participar en el foro al menos cuatro días antes que el foro cierre, so pena de no considerársele como autor del trabajo.

No obstante hay grupos de estudiantes que entran en la dinámica del trabajo colaborativo y a partir de la

realimentación a los trabajos entregados, ellos logran los propósitos del curso.

La siguiente figura muestra claramente una serie de imprecisiones que cometen los estudiantes a la hora de construir los modelos; las realimentaciones buscan generar en los estudiantes conflictos cognitivos, pues al mostrarles los errores en el diagrama y sugerir el origen, mediante preguntas, hace que ellos de alguna manera intenten resolver la situación. No siempre funciona la estrategia de hacer preguntas y básicamente ocurre porque el estudiante, al no haber apropiado los conceptos, no posee estructuras cognoscitivas que se permitan darse cuenta del error, luego de haber reflexionado ante las preguntas planteadas.

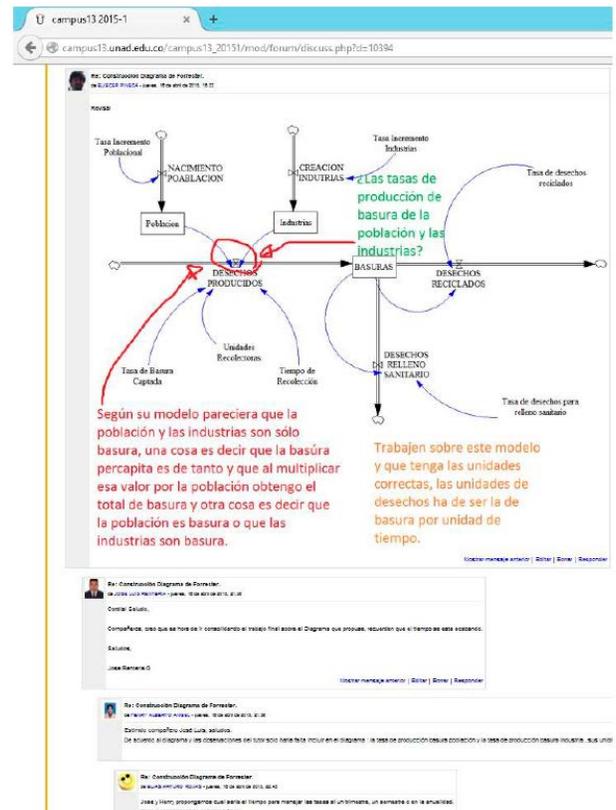


Figura 11. Realimentación del diagrama de Forrester.

La figura 12 muestra que ha habido progresos en la comprensión de los útiles de la dinámica de sistemas y su uso más cercano a lo que debería ser. Es evidente que la distancia estudiante-tutor en este caso hace que los procesos de aprendizaje vayan siendo más lentos, pero no por ello menos efectivos. Aunque es notorio el progreso en la construcción del diagrama de Forrester, aún el diagrama debe ser perfeccionado.

Una vez se ha logrado que construyan un buen diagrama de Forrester viene el problema, para los estudiantes, que consiste en la comprensión de qué tipo de funciones matemáticas han de usar asociado a cada uno de los elementos de la dinámica de sistemas. En estos casos ayuda que hayan aprendido que hay una relación entre  $dX/dt$  y el flujo y otra relación entre  $X$  y el nivel [11]. Resulta ser, que en muchos de los casos, los estudiantes encuentran en el diseño e inclusión de las ecuaciones una de las partes más difíciles, lo que hace que un proceso como la validación de los modelos resulte dificultoso a la hora de realizarlo.

Una consulta que es muy frecuente en los estudiantes es: ¿Cómo hago para generar las ecuaciones?, ¿Qué parte del software hace eso? En esta circunstancia hay que citar a los estudiantes, generalmente, a una web-conferencia en la que se les muestra mediante ejemplos que no hay una fórmula mágica para generar las ecuaciones, que ello depende básicamente del conocimiento que el modelador tenga del fenómeno que está siendo modelado y de conocimientos mínimos de matemática que se suponen presentes en estudiantes de séptimo nivel.

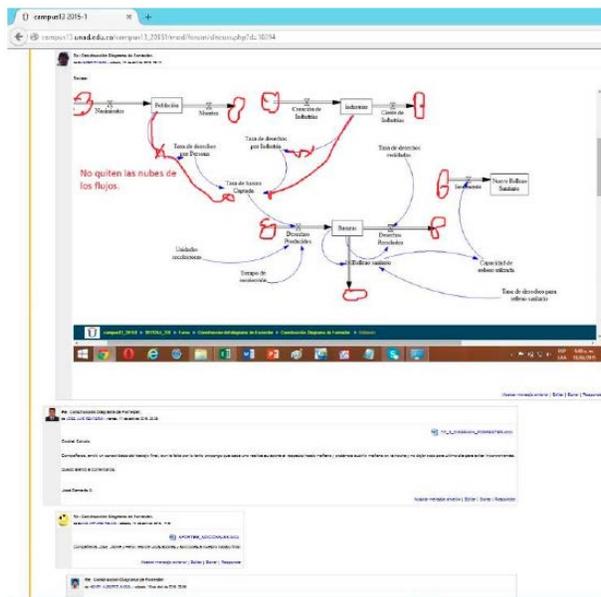


Figura 12. Realimentación del diagrama de Forrester.

El grupo hizo la entrega del modelo que se puede ver en la figura 13, este modelo se realimentó de la siguiente manera: “Modelo basuras. Bien identificados los niveles y los flujos, pero los valores están produciendo comportamiento que no son coherentes, deben revisar las ecuaciones y las unidades. Las tasas de producción

de basuras de las industrias no puede ser la misma que las de las empresas. La capacidad del relleno debería servir para determinar cuándo se llena y por tanto deberían implementar un nivel llamado relleno y usar ese dato de la capacidad para indicar en que momento hay problemas por estar sin donde llevar la basura.”

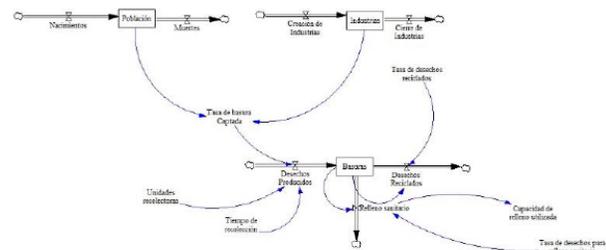


Figura 13. Diagrama de Forrester entregado por el grupo.

A partir de esta realimentación y del modelo, los estudiantes abordan la siguiente actividad colaborativa.

El siguiente foro es el de toma de decisiones; en este foro los estudiantes revisan material sobre el uso de los modelos dinámicos para la el apoyo de la toma de decisiones, el diseño de escenarios de simulación y la realización de pruebas de validación de los modelos. La idea de este foro es que puedan hacer estos ejercicios sobre el modelo de tal forma que los prepare para el siguiente trabajo colaborativo. En el curso se asume la toma de decisiones como lo plantea [12], es decir, como los mecanismos de realimentación, capaces de convertir información en acción.

El último foro en el que trabajan los estudiantes es el de la experimentación simulada en el cual ellos deben plantear, ciertos experimentos simulados, a partir de los escenarios diseñados, naturalmente, relacionados con el problema que inicialmente se propusieron abordar. El grupo al cual se le estaba haciendo el seguimiento logró refinar el modelo según se ve en la siguiente figura, pero por falta de trabajo de grupo no lograron calibrarlo para realizar el ejercicio asociado a la simulación experimentada para luego formular las políticas, criterios o reglas que rige la forma de tomar decisiones, conducentes a la resolución del problema inicialmente planteado.

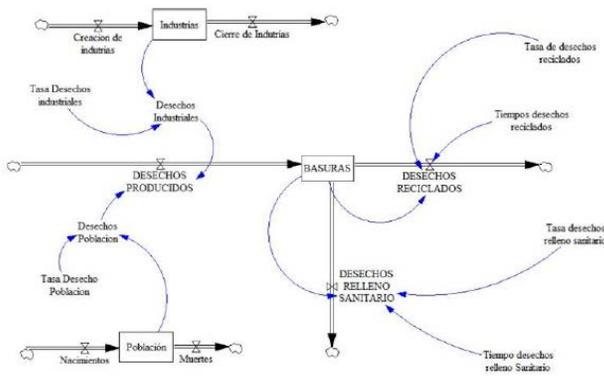


Figura 14. Diagrama de Forrester final.

No en todos los casos se logran resultados exitosos pues el hecho de haber desarrollado una de las tareas previas de forma incorrecta, en uno de los foros anteriores, naturalmente hace casi imposible que puedan desarrollar los propósitos del último foro de manera apropiada. En el caso revisado el grupo tuvo un desempeño promedio; hay grupos que desde el primer colaborativo no son capaces de formular bien el problema, mientras que hay otros grupos que debido a su trabajo y al acompañamiento del tutor logran desarrollar competencias mínimas esperadas en el curso.

#### IV. REFLEXIONES FINALES

Una de las principales ventajas que tiene el uso de la TI, para mediar procesos de aprendizaje, es que hace accesible el conocimiento a un número mayor de personas; pues al desvanecerse el espacio físico, se crea un otro espacio en el cual quien desea aprender y quien puede acompañar dicho aprendizaje, se pueden encontrar de forma sincrónica o asincrónica para hacerlo posible. A nivel de dinámica de sistemas, esta estrategia de aprendizaje podría ser aprovechada como una posibilidad para incrementar la base de sus practicantes, trayendo con ello las consabidas consecuencias, promoviendo de esta forma una corriente de pensamiento dinámico sistémica.

La principal dificultad que puede entrañar la educación mediada por TI es que algunos hablan de la desnaturalización de la educación a causa del uso intensivo de las tecnologías; pero finalmente parecen ser más las bondades del uso de las TI en educación, una de ellas es que puede surgir como un elemento democratizador de la educación, por tanto de la dinámica de sistemas. Consecuencia de lo anterior, esta dejaría de ser privilegio de unas ciertas élites que pueden asistir a los centros de educación tradicional,

para convertirse en una forma de pensar asequible a todos.

Finalmente el propósito de este artículo es llamar la atención de la comunidad de practicantes de dinámica de sistemas para voltear la cara al problema fundamental de la formación de los futuros practicantes, pues es un aspecto que ha sido descuidado en favor de la práctica misma; ello se evidencia en que la mayoría de los aportes a los congresos están relacionados con aplicaciones de la dinámica de sistemas, incluso como herramienta para ayudar a aprender otras cosas pero no como un ejercicio auto-referente y necesario.

#### V. CONCLUSIONES

La educación tradicional ofrece a los estudiantes la posibilidad de resolver las dudas de forma inmediata una vez estas aparecen, cosa que no es posible en la educación a distancia mediada virtualmente; este hecho puede hacer un poco más lento el proceso de aprendizaje en la virtualidad.

En educación tradicional quien no asiste a clase pierde la posibilidad de recibir la orientación del docente; esto no ocurre en la educación a distancia pues el estudiante dispone de los materiales diseñados para que afronte su proceso de aprendizaje y tiene la opción de formular sus inquietudes, a la vez que estas aparecen, con la posibilidad de que sean luego resueltas.

El uso de las TI en el proceso de aprendizaje de la dinámica de sistemas implica que haya docentes que estén preparados para establecer comunicación sincrónica y asincrónica a través de las TI y no sólo que estén preparados en el aspecto disciplinar; de hecho es deseable que haya sido un estudiante en este sistema de aprendizaje.

El estudiante de entornos virtuales, en gran proporción, suele dejar para última hora todo el proceso de apropiación de conceptos, por la flexibilidad que en estos entornos se tiene para decidir en qué momentos se accede a la plataforma de estudio, naturalmente eso influye de manera negativa en el proceso de aprendizaje. No se debe confundir la flexibilidad con facilidad.

Tanto el estudiante tradicional como el virtual enfrentan los problemas clásicos de ver lo que no es visible, específicamente, las relaciones de información, a la hora de diseñar los diagramas de influencias y suelen

cometer los mismos errores en cuanto a la distinción de las relaciones de material y el desconocimiento de la ley de la conservación de la materia, en sus representaciones.

Todo estudiante se enfrenta al problema de conceptualizar las nociones de razón de cambio y acumulación y una vez ha sido capaz de conceptualizarlas, encuentra dificultades al procurar identificarlas adecuadamente en los fenómenos que modela.

Finalmente no haber desarrollado habilidades de pensamiento sistémico surge como otro elemento que dificulta la cabal comprensión del potencial de representación que posee la dinámica de sistemas y naturalmente su no comprensión dificulta que posteriormente la puedan usar en procesos básicos de toma de decisiones.

#### VI. AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.

#### VII. REFERENCIAS

- [1] J. Salinas. "Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria." En revista Universidad y Sociedad del Conocimiento. Vol. 1, Núm. 1 (2004): Noviembre.
- [2] G. Sotomayor. "De la educación bancaria en el Aula a la educación problematizadora en la Red." En revista Didáctica, Innovación y Multimedia Publicación Cuatrimestral. Núm. 20 (2011): Abril.
- [3] K. Flechsig, & E. Schiefelbein. "Enseñanza frontal o Tradicional (Enseñanza cara a cara)" En Veinte Modelos Didácticos para América Latina, Washington DC., Biblioteca Digital de OEA. Recuperado el 1 de septiembre, 2008, de [http://www.educoas.org/portal/bdigital/contenido/interamer/interamer\\_72/Schiefelbein-Chapter1New.pdf](http://www.educoas.org/portal/bdigital/contenido/interamer/interamer_72/Schiefelbein-Chapter1New.pdf)
- [4] H. Andrade, G. Maestre, & G. López. "Desarrollando competencias en la toma de decisiones con dinámica de sistemas: una experiencia de aula." En memorias de: La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento 9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario.
- [5] C. Abadía, P. Vela & J. Guerrero. "Lineamientos generales del Currículo en la UNAD." Febrero de 2014.
- [6] G. Herrera, "Ambientes virtuales de aprendizaje. Documento de trabajo. Vicerrectoría de medios y

mediaciones pedagógicas (VMMEP). UNAD" 2011, Bogotá.

[7] UNAD. "Proyecto académico pedagógico solidario. PAP solidario." Versión 3.0. Bogotá. D. C. 2011.

[8] J. Martí, M. Heydrich, M. Rojas y A. Hernández. "Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente." En Revista Universidad EAFIT. Vol. 46. No. 158 | abril, mayo, junio 2010

[9] A. Badia y C. García. "Incorporación de las TIC en la enseñanza y el aprendizaje basados en la elaboración colaborativa de proyectos." En Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento Vol. 3 - N.º 2 / Octubre de 2006

[10] L. Galeana. "Aprendizaje Basado En Proyectos". Universidad de Colima. Disponible en línea en: <http://ceupromed.ucol.mx/revista/PdfArt/1/27.pdf>

[11] J. Aracil, y F. Gordillo. "Dinámica de Sistemas". Alianza Universidad Textos. Madrid. 1997.

[12] Y. Álvarez y R. García. "Aprendizaje De La Organización, Juegos De Empresa Y Dinámica De Sistemas". Anales de Economía Aplicada. XIV Reunión ASEPELT-España. Oviedo, 22 y 23 de Junio de 2000". ISBN: 84-699-2357-9



**Eliécer Pineda Ballesteros** recibido en los grados de Ingeniería de Sistemas y Economía de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia en los años 2000 y 2005 respectivamente; es Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Cooperativa de Colombia, 2007 y Magister en Informática de la UIS, 2007. Sus intereses actuales se concentran en la investigación en el área de modelado con dinámica de sistemas y en el ejercicio de la enseñanza de la misma. Actualmente es docente de planta de la UNAD.

## 2. DINÂMICA EVOLUTIVA DO CARRAPATO DO BOI (BOOPHILUS MICROPLUS).

**LUIS ALBERTO AMBRÓSIO, CECILIA JOSÉ VERISSIMO**

Instituto de Zootecnia - Brazil  
ambrosio@iz.sp.gov.br, cjverissimo@iz.sp.gov.br

### ABSTRACT

The cattle tick is an ectoparasite that causes losses in milk production systems in the State of São Paulo, Brazil. To understand the effects of climate change on the infestation of ticks in cattle herds is necessary to consider that the evolutionary dynamics of the tick is influenced by the interaction of several factors working in free-living and parasitic stages of the tick. These factors are the environmental resistance which constrains the growth of the population. This work used the system dynamics method to build conceptual and computational models of evolutionary dynamics of ticks. The computer model uses the "aging chain" molecule to simulate aging and the persistence of individuals at each stage of the life cycle. The model identifies reinforcing feedback loop involving growth phases of population. Simulation tests showed that the model adequately mime the evolutionary dynamics of tick and can be used in silico experiments, in particular those involving disturbances caused by climate change.

**KEYWORDS:** Ticks, Dairy cattle, System Dynamics, Aging chain, SIMILE.

### I. INTRODUÇÃO

Os REBANHOS de bovinos leiteiros no Estado de São Paulo, Brasil, são intensamente infestados por carrapatos do boi (*Boophilus microplus*) exigindo esquemas rigorosos de controle. As populações de carrapato que infestam os rebanhos de bovinos leiteiros estão adaptadas às condições climáticas e a outros fatores que formam a resistência do meio ao crescimento da população. Esta situação pode se agravar com os efeitos das mudanças climáticas que causam aumento da temperatura e da precipitação os quais influenciam no crescimento da população de carrapatos. Daí surge o problema de conhecer a capacidade dos rebanhos bovinos leiteiros em responderem aos novos padrões dinâmicos das populações de carrapatos provocados pelas mudanças climáticas, nas condições do Estado de São Paulo, Brasil. Esta capacidade de resposta é chamada de resiliência. Mais precisamente, resiliência é definida como sendo uma medida da persistência de um sistema e sua capacidade de absorver mudanças e impactos mantendo em iguais termos as relações entre seus componentes [1]. O ciclo evolutivo do carrapato do boi se constitui em um sistema complexo cuja dinâmica da

população é influenciada por diversos fatores ambientais e intrínsecos ao animal hospedeiro. O ciclo evolutivo do carrapato apresenta duas fases: ciclo de vida livre, no qual a teleóquina, a fêmea ingurgitada, cai no solo para ovipor. Nessa fase, a embriogênese depende principalmente da temperatura ambiente, bem como da umidade; quando os ovos eclodem, as larvas sobem no capim à espera do hospedeiro; no momento em que a larva encontra o hospedeiro, inicia-se o ciclo de vida parasitário, que tem menor variação na sua duração, e no qual cada instar (larva, ninfa, e adultos, machos e fêmeas) parasitam o bovino em torno de 7 dias, de modo que o período de larva a fêmea ingurgitada dura, em média, 21 dias. Conhecer suas dinâmicas é a base para estabelecer estratégias de controle. Experimentos in silico usando modelos computacionais de simulação, baseados na Dinâmica de Sistemas, são uteis para as pesquisas de dinâmica populacional com o objetivo de se estabelecer estratégias para o controle do carrapato em diferentes cenários, o que seria impossível de realizar em condições de campo ou de laboratório devido ao tempo prolongado e aos altos custos destes experimentos. Os cenários podem representar diferentes práticas de controle do carrapato as quais envolvem aplicações de

acaricidas, manejo dos animais hospedeiros e das pastagens e as condições do solo e do clima. Os modelos também permitem analisar a transmissão de doenças para os bovinos e os efeitos das infestações de carrapato sobre a produtividade do rebanho e sobre a eficiência econômica na produção de leite e carne. E, particularmente, o modelo possibilita a simulação a resiliência dos rebanhos de bovinos leiteiros às infestações de carrapatos em condições de mudanças climáticas. A estrutura do modelo deve ser baseada no ciclo evolutivo, contemplando cada fase evolutiva do carrapato, que no conjunto determinam o tamanho da população deste ectoparasito em determinado sistema de produção de leite. O modelo também deve representar tanto as fases parasitárias como as fases de vida livre do carrapato e como as mudanças de fases e suas durações são influenciadas pelos fatores ambientais e intrínsecos aos animais. Adotando estes pressupostos as simulações obtidas com o modelo podem mimicar a dinâmica evolutiva da população de carrapatos. O objetivo deste trabalho é de apresentar os modelos conceitual e computacional da dinâmica da população do carrapato do boi, construídos usando o método de modelagem da Dinâmica de Sistemas. O modelo computacional será usado para a realização de experimentos *in silico* sobre a resiliência do rebanho de bovinos leiteiros aos distúrbios das mudanças climáticas.

## II. METODOLOGIA

O método de modelagem da Dinâmica de Sistemas [2] e [3] permite analisar as tendências dinâmicas do sistema evolutivo do carrapato do boi com o objetivo de determinar a estabilidade, as oscilações e as tendências para o equilíbrio, ou seja, se o comportamento dinâmico observado neste sistema complexo é provocado por sua própria estrutura e funções. Nesta metodologia é importante determinar as retro-alimentações (feedback) que causam variações endógenas no sistema.

A modelagem da Dinâmica de Sistemas [3] é realizada em duas grandes etapas que envolvem a construção de modelo conceitual e de modelo computacional. Na primeira etapa, o modelo conceitual, ilustrado graficamente, torna explícito o modelo mental do sistema, ou seja, o que e como se está pensando o sistema. Na construção do modelo conceitual melhora-se a habilidade de estabelecer um processo de comunicação de conhecimentos sobre o sistema e desenvolve o pensamento sistêmico acerca de problemas complexos. Na segunda etapa, o modelo conceitual é usado como framework para a construção

do modelo computacional o qual permite a simulação da dinâmica do sistema para cada cenário especificado.

No modelo conceitual, o diagrama de ciclo causal tornam explícitas as relações de causa e efeito entre os fatores ou variáveis do sistema. Estas relações são indicadas por meio de setas de influências com polaridades positivas (o efeito é na mesma direção) e polaridades negativas (o efeito é na direção oposta). Destas relações entre as variáveis surgem os ciclos causais, que podem ser ciclos de retroalimentação (feedback loops) de reforço (R) que determinam um padrão de comportamento das variáveis dependentes com tendências de crescimento ou colapso exponencial ao longo do tempo e os ciclos de retroalimentação de balanço (B) em que as variáveis apresentam tendências de estabilização em torno de um patamar ao longo do tempo. O diagrama também contém informações de demoras (delay, ou seja, há um atraso na percepção dos efeitos) que são representadas por dois traços paralelos que cruzam a seta de influência que possui este atributo.

No modelo computacional, o estado do sistema em um determinado tempo é representado por meio de variáveis de estoques que indicam acumulações. Os valores destes estoques se alteram em função dos fluxos de entrada e de saída a uma taxa de mudança dos estoques por unidade de tempo. A estrutura do modelo e as variáveis que quantificam suas inter-relações são representadas pelos diagramas de estoque-fluxo, conhecidos como Diagramas de Forrester. A especificação matemática em um diagrama de estoque-fluxo, na Dinâmica de Sistemas, ocorre por meio de um sistema de equações diferenciais o qual é numericamente resolvido durante a simulação do modelo computacional [2] e [3]. A simulação gera gráficos das curvas das variáveis em função do tempo, indicando suas dinâmicas. Neste trabalho, o modelo computacional que apresenta o diagrama de Forrester do sistema e executa a simulação do modelo "Carrapato" foi construído no software Simile o qual foi escolhido por apresentar algumas vantagens para a modelagem de ecossistemas complexos em relação a outros softwares.

Usou-se a técnica de modelagem que facilita a construção de modelos computacionais denominada de "Moléculas" [4]. A molécula "aging chain" é amplamente usada na modelagem de Dinâmica de Sistemas [3], [5] e [6] foi modificada e adaptada à dinâmica populacional de carrapatos para incorporar a evolução das fases do

carrapato no modelo computacional. A “aging chain” foi usada com sucesso para modelar a dinâmica populacional humana [7] e [8]. O modelo foi construído no software Simile [9] e [10] o qual possui comandos que facilitam a modelagem computacional de ecossistemas, em particular da dinâmica de populações.

Em termos computacionais a “aging chain” é uma desagregação de uma demora (delay) para transferir material (co-fluxos) entre os elos de uma cadeia, conforme o diagrama da Fig. 1, tendo como equação geral: Fluxo de saida = Estoquet / Tempoconstante.

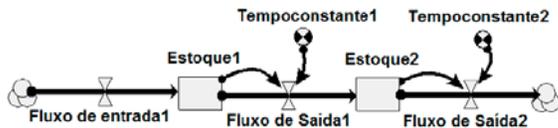


Figura 1. Exemplo de diagrama de estoque e fluxo de um “aging chain”.

Na Fig. 2, as polaridades positivas das influências entre as fases e sobre a população indicam que o aumento na quantidade de indivíduos em qualquer fase evolutiva irá contribuir com o aumento da população, da mesma forma que a diminuição na quantidade de indivíduos influencia na diminuição da população de carrapatos.

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Modelo conceitual.

##### 3.1.1 Ciclo evolutivo do carrapato.

O ciclo evolutivo do carrapato do boi (*Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*) envolve fases parasitárias tendo os bovinos como hospedeiros e fases de vida livre no solo. As fases parasitárias completas duram em média 21 dias se iniciando com a larva infectante e terminando na fase de teleóquina; nesta fase as fêmeas se enchem de sangue do animal ficando com aspecto semelhante a semente de mamona (*Ricinus communis* L.) em seguida se desprendem do animal e iniciam a fase de vida livre dependente de condições de temperatura e umidade. A fêmea teleóquina faz a oviposição gerando milhares de ovos. Da eclosão dos ovos nascem milhares de larvas que possuem uma alta capacidade de sobrevivência, podendo viver até 9,5 meses nas pastagens, dependendo da umidade e, principalmente, da temperatura ambiente [14]. Este ciclo evolutivo do carrapato é representado por um ciclo de reforço, onde a quantidade de indivíduos em cada fase influencia a quantidade de indivíduos na fase seguinte. Este é um

ciclo de reforço caracterizado pela formação de uma população de carrapatos com alto potencial biótico, conforme apresentado na Figura 2.

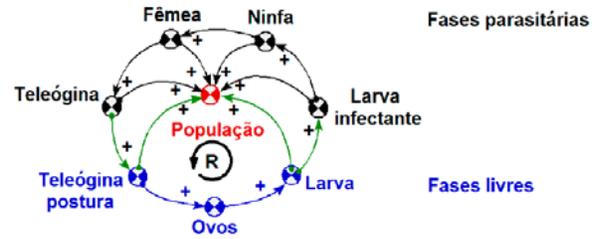


Figura 2. Diagrama de ciclo causal de reforço (R) das fases evolutivas do carrapato.

##### 3.1.2 Dinâmica da população de carrapato.

Os carrapatos estabelecem uma relação de ectoparasitismo com os bovinos leiteiros. A dinâmica da população de carrapatos é influenciada pelo potencial biótico da espécie em que uma fêmea produz cerca de 2000-3000 ovos por ciclo de reprodução que resultam em muitas ou poucas novas fêmeas, dependendo do hospedeiro. Se este for zebuino, como Gir leiteiro, serão muito poucas (menos de 10 teleóquinas), e se for uma vaca Holandesa, serão muitas, podendo facilmente chegar a mais de 1000. Como a maioria do rebanho leiteiro brasileiro é formado por animais mestiços, zebuínos e europeus, que geram um número geralmente alto de carrapatos [11], [12], [13] e [14], isso gera um ciclo virtuoso de crescimento da população de carrapatos, representado pelo ciclo de reforço (R1) e a curva de crescimento exponencial da Fig. 3.



Figura 3. Diagrama do ciclo causal do potencial biótico da população de carrapato.

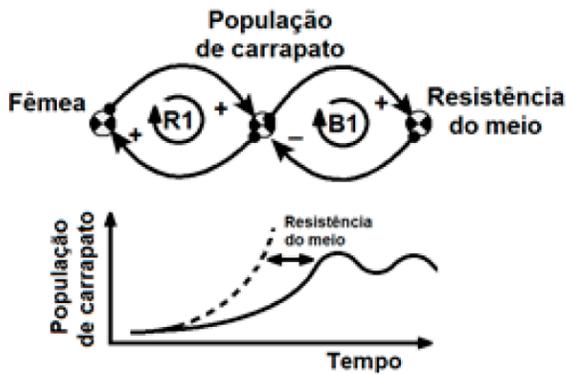


Figura 4. Diagrama do ciclo causal do efeito da resistência do meio no crescimento da população de carrapato. Neste caso, a variável Fêmea representa o conjunto de fases evolutivas.

Em condições de campo o crescimento da população de carrapatos é limitado por um conjunto de fatores que representam a resistência do meio. A resistência do meio cresce com o aumento da densidade populacional gerando um ciclo de balanço (B1) que atua no sentido de estabilizar a população de carrapato em torno de um nível máximo de indivíduos suportado pelo ambiente. Como resultado, a curva da dinâmica do crescimento apresenta um padrão de referência com formato sigmoide, conforme mostrado na Fig. 4.

### 3.1.3 Detalhamento da resistência do meio ao crescimento de carrapatos.

Os fatores de resistência do meio ao crescimento de carrapatos em sistemas de produção de leite são os intrínsecos ao animal hospedeiro (genótipo, idade, sexo, estado fisiológico (gestação/lactação) e nutrição) e os fatores ambientais (pasto, forrageiras, estações climáticas, tipo de adubação do pasto, presença de inimigos naturais) [11], [12], [13] e [14]. A raça do bovino leiteiro hospedeiro é o fator que mais contribui para a resistência do meio ao crescimento da população de carrapatos [11], [13], quanto maior a proporção de genes zebuínos em relação aos Holandeses maior a resistência do meio. No caso de animais puros Holandeses ou com alto grau de sangue europeu, a limitação do crescimento exponencial desses parasitas é a morte dos hospedeiros muito susceptíveis [15]. A idade dos animais influencia na resistência do meio ao crescimento da população de carrapatos, assim em animais com menos de 7 meses a população de carrapatos é baixa, tendo um pico no período de puberdade (de 8 a 12 meses) e com aumento também em idades mais avançadas [11]. Quanto ao sexo dos animais, a fêmea apresenta maior resistência ao carrapato do que o macho, devido às interações entre o sistema imune e o endócrino [11]. Outros fatores como estados fisiológicos (lactação e gestação) também

podem influenciar a resistência da fêmea [12]. Dentre os fatores ambientais os parâmetros climáticos, em especial a temperatura, a precipitação e o fotoperíodo, têm grande contribuição para aumento da resistência do meio. As forrageiras podem contribuir com o aumento da resistência do meio quando permitem maior penetração dos raios solares no solo que causam a desidratação dos carrapatos na fase de vida livre. Assim, por exemplo, capim o colônio que tem crescimento cespitoso contribui mais com a resistência do meio do que gramíneas forrageiras com crescimento estolonífero [11], [13]. O tipo de manejo da pastagem também contribui para o aumento da resistência do meio, principalmente quando os bovinos pastam em pastos que ficaram em repouso superior a 3 meses ou em pastos recém formados [11], [13]. O controle químico também é uma forma de resistência do meio para o crescimento da população de carrapato [11]; porém apresenta efeitos colaterais como o aumento da frequência de genes que permitem aos carrapatos sobreviver aos acaricidas [16].

## 3.2. Modelo Computacional.

### 3.2.1 Diagrama de compartimentos e fluxos do modelo computacional.

A estrutura do modelo computacional (Fig. 5) é baseada em processos de envelhecimento dos indivíduos de uma população usando a molécula "aging chain" [4]. A quantidade de indivíduos em cada fase do ciclo evolutivo (Variáveis estado representadas pelos compartimentos) se constitui em estoques da população que se alteram em função dos processos de envelhecimento (Representado pelos fluxos de entrada e saída de indivíduos em cada fase) e de morte. Para a calibração do modelo as taxas de mortalidade e de mudanças de fases foram obtidas na literatura. Estas taxas são influenciadas por diversos fatores ambientais e intrínsecos ao animal hospedeiro. Em particular interessa simular os efeitos de variações dos fatores climáticos sobre a dinâmica da população de carrapatos. O tempo médio de permanência dos indivíduos em cada fase permite ajustar o estoque de indivíduos. No fluxo de saída da fase a população é dividida por este tempo de permanência. A população de carrapato é dividida em dois grandes grupos de indivíduos conforme a forma em que vivem: parasitária e vida livre. Isto permite conhecer, por meio da simulação, a eficiência de diferentes métodos de controle de carrapatos. Todos os estoques populacionais das fases são agregados na variável "população total", exceto o estoque de "Ovo".

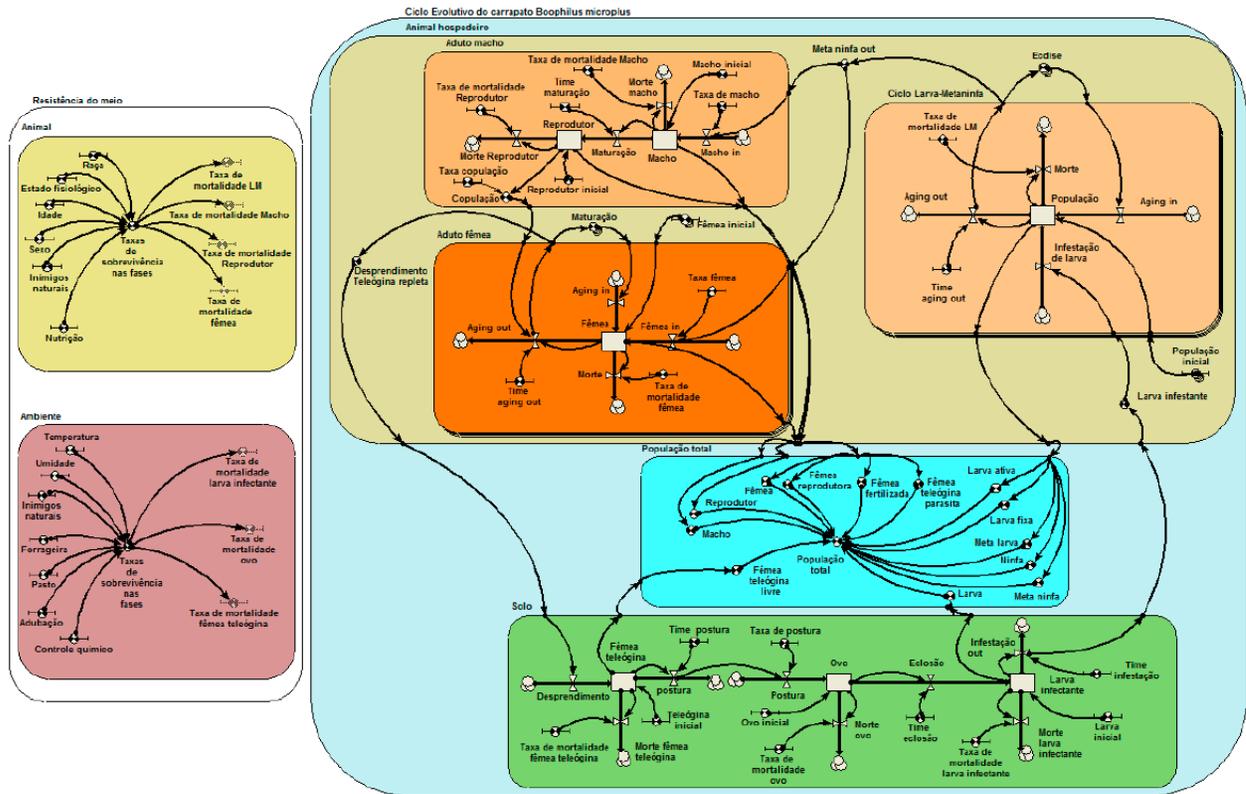


Figura 5. Diagrama do modelo computacional

3.2.2. Equações do modelo computacional programadas no software Simile.

Model carrapatoClasses

Submodel Ciclo Evolutivo do carrapato Boophilus microplus

Submodel Ciclo Evolutivo do carrapato Boophilus microplus/Animal hospedeiro

Variable Desprendimento Teleógina repleta = element([Aging\_out],4)

Where: [Aging\_out]=Aduto fêmea/Aging out

Variable Ecdise = [Aging\_out]

Where: [Aging\_out]=Ciclo Larva-Metaninfa/Aging out

Variable Fêmea inicial = Variable parameter Minimum = 0, Maximum = 1000

Variable Larva infestante = Infestação out 0

Where: Infestação\_out\_0=../Solo/ Infestação out

Variable Maturação = [Aging\_out]

Where: [Aging\_out]=Aduto fêmea/Aging out

Variable Meta ninfa out = element([Aging\_out],5)

Where:[Aging\_out]=Ciclo Larva-Metaninfa/Aging out

Variable População inicial = Variable parameter, Minimum = 0, Maximum = 10000

Submodel Ciclo Evolutivo do carrapato Boophilus microplus/Animal hospedeiro/Aduto macho

Compartment Macho Initial value = Macho\_inicial

Where: Macho\_inicial=Macho inicial . Rate of change = + Macho in - Maturação - Morte macho

Compartment Reprodutor. Initial value = Reprodutor\_inicial

Where: Reprodutor\_inicial=Reprodutor inicial; Rate of change = + Maturação - Morte Reprodutor

Flow Morte Reprodutor = Taxa\_de\_mortalidade\_\_Reprodutor\*Reprodutor

Where: Taxa\_de\_mortalidade\_\_Reprodutor=Taxa de mortalidade Reprodutor

Flow Macho in = Taxa\_de\_macho\*Meta\_ninfa\_out

Where: Taxa\_de\_macho=Taxa de macho. Meta\_ninfa\_out=../Meta ninfa out

Flow Maturação = Macho/Time maturação  
 Where: Time\_\_maturação=Time maturação  
 Flow Morte macho = Taxa\_de\_mortalidade\_Macho\*Macho  
 Where: Taxa\_de\_mortalidade\_Macho=Taxa de mortalidade Macho  
 Variable Copulação = Taxa\_copulação\*Reprodutor  
 Where: Taxa\_copulação=Taxa copulação  
 Variable Macho inicial = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 10000  
 Variable Reprodutor inicial = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 10000  
 Variable Taxa copulação = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1  
 Variable Taxa de macho = Variable parameter Minimum = 0, Maximum = 1  
 Variable Taxa de mortalidade Reprodutor = Variable parameter Minimum = 0, Maximum = 1  
 Variable Taxa de mortalidade Macho = Variable parameter Minimum = 0, Maximum = 1  
 Variable Time maturação = Variable parameter. Minimum = 0, Maximum = 1  
 Submodel Ciclo Evolutivo do carrapato Boophilus microplus/Animal hospedeiro/Aduto fêmea  
 Submodel Ciclo Evolutivo do carrapato Boophilus microplus/Animal hospedeiro/Aduto fêmea is a fixed\_membership submodel with dimensions [4].  
 Compartment Fêmea. Initial value = element([Fêmea\_inicial],index(1))  
 Where: [Fêmea\_inicial]=../Fêmea inicial Rate of change = + Fêmea in + Aging in - Aging out - Morte  
 Flow Aging in = if index(1)>1 then int(element([Maturação],index(1)-1)) else 0  
 Where: [Maturação]=../Maturação  
 Flow Aging out = if index(1)==2 then int(Copulação/(Fêmea+1))else Time\_aging\_out\*Fêmea  
 Where:Copulação=../Aduto macho/Copulação. Time\_aging\_out=Time aging out  
 Flow Fêmea in = if index(1)==1 then Taxa\_fêmea\*Meta\_ninfa\_out else 0  
 Where: Meta\_ninfa\_out=../Meta ninfa out. Taxa\_fêmea=Taxa fêmea  
 Flow Morte = Taxa\_de\_\_mortalidade\_fêmea\*Fêmea  
 Where: Taxa\_de\_\_mortalidade\_fêmea=Taxa de mortalidade fêmea  
 Variable Taxa de mortalidade fêmea = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1  
 Variable Taxa fêmea = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1  
 Variable Time aging out = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1  
 Submodel Ciclo Evolutivo do carrapato Boophilus microplus/Animal hospedeiro/Ciclo Larva-Metaninfa  
 Submodel Ciclo Evolutivo do carrapato Boophilus microplus/Animal hospedeiro/Ciclo Larva-Metaninfa is a fixed\_membership submodel with dimensions [5].  
 Compartment População. Initial value = element([População\_inicial],index(1))  
 Where: [População\_inicial]=../População inicial . Rate of change = + Aging in + Infestação de larva - Aging out - Morte  
 Flow Infestação de larva = if index(1)==1 then Larva\_infestante\*(1-Larva\_infestante/1000000)else 0  
 Where: Larva\_infestante=../Larva infestante  
 Flow Morte = Taxa\_de\_\_mortalidade\_LM\*População  
 Where: Taxa\_de\_\_mortalidade\_LM=Taxa de mortalidade LM  
 Flow Aging in = if index(1)>1 then int(element([Ecdise],index(1)-1)) else 0  
 Where: [Ecdise]=../Ecdise Flow Aging out = Time\_\_aging\_out\*População  
 Where: Time\_aging\_out=Time aging out  
 Variable Taxa de mortalidade LM = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1  
 Variable Time aging out = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1  
 Submodel Ciclo Evolutivo do carrapato Boophilus microplus/População total  
 Variable Fêmea = element([Fêmea],1)  
 Where: [Fêmea]=../Animal hospedeiro/Aduto fêmea/Fêmea  
 Variable Fêmea fertilizada = element([Fêmea],3)  
 Where:[Fêmea]=../Animal hospedeiro/Aduto fêmea/Fêmea  
 Variable Fêmea reprodutora = element([Fêmea],2)  
 Where: [Fêmea]=../Animal hospedeiro/Aduto fêmea/Fêmea  
 Variable Fêmea teleógena livre = Fêmea\_\_teleógena  
 Where: Fêmea\_teleógena=../Solo/Fêmea teleógena

Variable Fêmea teleógina parasita = element([Fêmea],4)  
 Where: [Fêmea]=../Animal hospedeiro/Aduto fêmea/Fêmea  
 Variable Larva = Larva\_infectante  
 Where: Larva\_infectante=../Solo/Larva infectante  
 Variable Larva ativa = element([População],1)  
 Where: [População]=../Animal hospedeiro/Ciclo Larva-Metaninfa/População  
 Variable Larva fixa = element([População],2)  
 Where: [População]=../Animal hospedeiro/Ciclo Larva-Metaninfa/População  
 Variable Macho = Macho  
 Where: Macho=../Animal hospedeiro/Aduto macho/Macho  
 Variable Meta larva = element([População],3)  
 Where: [População]=../Animal hospedeiro/Ciclo Larva-Metaninfa/População  
 Variable Meta ninfa = element([População],5)  
 Where: [População]=../Animal hospedeiro/Ciclo Larva-Metaninfa/População  
 Variable Ninfa = element([População],4)  
 Where: [População]=../Animal hospedeiro/Ciclo Larva-Metaninfa/População  
 Variable População total =Fêmea\_teleógina\_\_parasita+Fêmea\_fertilizada+ Fêmea\_reprodutora+Fêmea+Reprodutor+  
 Macho+ Fêmea\_teleógina\_livre+ Larva\_ativa+Larva\_fixa + Meta\_larva +Ninfa+Meta\_ninfa+Larva.  
 Where: Fêmea\_teleógina\_parasita =Fêmea teleógina parasita. Fêmea\_fertilizada=Fêmea fertilizada.  
 Fêmea\_\_reprodutora=Fêmea reprodutora. Fêmea\_teleógina\_\_livre=Fêmea teleógina livre. Larva\_ativa=Larva ativa.  
 Larva\_fixa=Larva fixa. Meta\_larva=Meta larva. Meta\_ninfa=Meta ninfa .  
 Variable Reprodutor = Reprodutor  
 Where: Reprodutor=../Animal hospedeiro/Aduto macho/Reprodutor  
 Submodel Ciclo Evolutivo do carrapato Boophilus microplus/Solo  
 Compartment Fêmea teleógina. Initial value = Teleógina\_inicial  
 Where: Teleógina\_inicial=Teleógina inicial Rate of change = + Desprendimento - postura - Morte fêmea Teleógina.  
 Compartment Larva infectante. Initial value = Larva\_inicial  
 Where: Larva\_inicial =Larva inicial. Rate of change = + Eclusão - Mortelavainfectante - Infestaçãoout  
 Compartment Ovo. Initial value = Ovo\_inicial  
 Where: Ovo\_inicial= Ovo inicial Rate of change = + Postura - Eclusão - Morte ovo  
 Flow Infestação out = Time\_infestação\*Larva\_infectante  
 Where: Larva\_infectante=Larva infectante. Time\_infestação=Time infestação  
 Flow Desprendimento = Desprendimento\_Teleógina\_repleta  
 Where: Desprendimento\_Teleógina\_repleta=../Animal hospedeiro/Desprendimento Teleógina repleta  
 Flow Eclusão = Time\_eclusão\*Ovo  
 Where: Time\_eclusão=Time eclusão  
 Flow Morte larva infectante = Taxa\_de\_mortalidade\_larva\_infectante\*Larva\_infectante  
 Where: Larva\_infectante=Larva infectante. Taxa\_de\_mortalidade\_larva\_infectante=Taxa de mortalidade larva infectante.  
 Flow Morte ovo =Taxa\_de\_mortalidade\_ovo\*Ovo  
 Where:Taxa\_de\_mortalidade\_ovo=Taxa de mortalidade ovo  
 Flow Morte fêmea teleógina = Taxa\_de\_mortalidade\_fêmea\_teleógina\*Fêmea\_\_teleógina  
 Where:Fêmea\_teleógina=Fêmea teleógina . Taxa\_de\_mortalidade\_fêmea\_teleógina=Taxa de mortalidade fêmea teleógina  
 Flow Postura = Taxa\_de\_postura\*postura  
 Where: Taxa\_de\_postura = Taxa de postura  
 Flow postura = Fêmea\_teleógina/Time\_\_postura  
 Where:Fêmea\_teleógina=Fêmea teleógina. Time\_\_postura=Time postura  
 Variable Larva inicial =Variable parameter. Minimum = 0, Maximum = 1  
 Variable Ovo inicial = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 100  
 Variable Taxa de mortalidade larva infectante = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1  
 Variable Taxa de mortalidade ovo = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Taxa de mortalidade fêmea teleógina = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Taxa de postura = Variable parameter . Minimum = 1500, Maximum = 3000

Variable Teleógina inicial = Variable parameter. Minimum = 0, Maximum = 1000

Variable Time infestação = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Time eclosão = Variable parameter. Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Time postura = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Submodel Resistência do meio

Submodel Resistência do meio/Animal

Variable Estado fisiológico = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Idade = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Inimigos naturais =Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Nutrição = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Raça = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Sexo = Variable parameter. Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Taxas de sobrevivência nas fases = Raça+Estado\_fisiológico  
+Idade+Sexo+Nutrição+Estado\_fisiológico+Inimigos\_\_naturais

Where: Inimigos\_naturais=Inimigos naturais. Estado\_fisiológico=Estado fisiológico

Submodel Resistência do meio/Ambiente

Variable Adubação = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Controle quimico = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Forrageira = Variable parameter. Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Inimigos naturais = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Pasto = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Taxas de sobrevivência nas fases =Temperatura+Umidade +Inimigos\_naturais+  
Forrageira+Pasto+Controle\_quimico+Adubação

Where: Inimigos\_naturais =Inimigos naturais. Controle\_quimico=Controle quimico.

Variable Temperatura = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

Variable Umidade = Variable parameter . Minimum = 0, Maximum = 1

### 3.2.3. Simulação

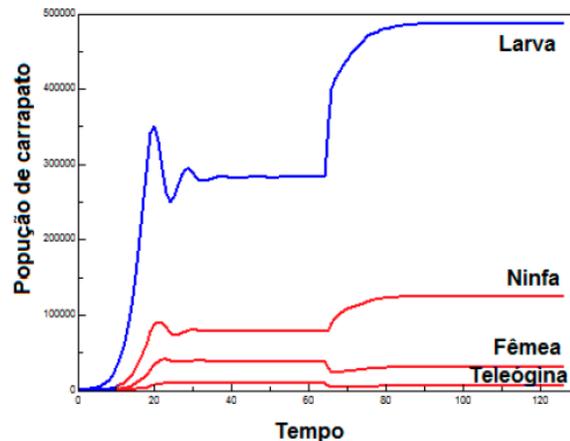


Figura 6. Exemplo de simulação da população de carrapatos em diferentes níveis de resistência do meio.

## IV. DISCUSSÃO.

A dinâmica da população total de carrapatos (Fig. 6) é sensível a população de cada fase do seu ciclo evolutivo, devido as interações entre estas fases

formarem um ciclo de reforço (R). Os efeitos de alterações nos fatores de resistência do meio não são lineares, por isso afetam de modo diferente a população em cada fase. Na Figura 6, no período de 0 a 63 dias a

simulação mimica o crescimento da população de carrapato com flutuações características de processos de envelhecimento (aging) até que se alcança a estabilidade no final do período. Estes comportamentos das curvas deverão ser calibrados e validados com dados de campo, de tal modo que os níveis populacionais simulados coincidam com os níveis populacionais observados em condições específicas a campo. Após a validação o modelo poderá ser usado em experimentos "in silico". A Figura 6 exemplifica o comportamento das curvas populacionais com realização do experimento a partir do tempo 64 para as condições de menor resistência do meio para as fases de vida livre e aumento da resistência do meio para as fases parasitárias. Observa-se que a infestação de fêmeas sofre uma queda no início (a partir do tempo 64) e volta para os níveis de infestação anterior devido às melhores condições de crescimento das fases de vida livre. Isto confirma o padrão de infestação do carrapato em condições a campo sob adoção de controle químico da população de carrapatos presentes nos animais. O modelo permitirá simular diversas combinações de práticas de controle que atuam sobre os fatores de resistência do meio nas fases de vida livre (temperatura, umidade, fotoperíodo, pastagem, forrageia e controle químico) e sobre os fatores que afetam as fases parasitárias (genótipo, idade, sexo e controle químico). Os resultados destas simulações orientarão o planejamento experimental de práticas de controle do carrapato do boi. O modelo também será ampliado e adaptado para simular a resiliência dos bovinos leiteiros às alterações nos níveis de infestação do carrapato devido aos distúrbios causados pelas mudanças climáticas.

## V. CONCLUSÃO

A metodologia de dinâmica de sistemas se mostrou adequada para a modelagem da dinâmica populacional do carrapato do boi. Em particular, devido ao entendimento proporcionado pelo modelo conceitual e pelas possibilidades reais de utilização do modelo computacional em experimentos "in silico". O atual modelo corrobora a utilidade da molécula aging chain em estudos populacionais em subdivisão em classes, fases ou cortes.

## AGRADECIMENTOS

Este projeto foi financiado pela FAPESP registrado como processo nº 2014/04416-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] C. S. Holling, "Resilience and stability of ecological systems". *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol.4, pp. 1-23. 1973.
- [2] P. M. Senge "The Fifth Discipline: the Art and Practice of the Learning Organization". New York: Doubleday, 1<sup>st</sup> edition. 1990 424 p.
- [3] J.D. Sterman "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World". USA: Chicago, IL. McGraw Hill companies. 2000. 982 p.
- [4] J. H. Hines, T. W. Malone, G. Herman, J. Quimby, M. Murphy-Hoye, J. Rice, P. Gonçalves, J. Patten, and H. Ishii. "Construction by replacement: a new approach to simulation modeling". *Massachusetts Institute of Technology*. 32 p. Disponível em <http://web.mit.edu/~paulopg/www/ConstructionByReplacement.pdf>. Acesso em 09 de Fevereiro de 2015. p 32 p.
- [5] J. W. Forrester. . "Urban Dynamics". Cambridge, MA: MIT Press. 1969.
- [6] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers and W. W. Behrens III, . "Limites do Crescimento: Um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade". São Paulo: Editora Perspectiva, 1973.
- [7] E. Pruyt, T. Logtens and G. Gijsbers. "Exploring Demographic Shifts: Aging and Migration Exploratory Group Model Specification & Simulation". In *Proceeding The 29<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society*, July 25 – 29, 2011, Washington, DC. 27 p. 2011
- [8] A. Sutrisno and O. Handel. "Dynamic Aging Population in Germany: A case study about demographic change". *University of Bergen*. 39 p. 2011.
- [9] R. Muetzelfeldt, R. and J. Massheder. "The Simile visual modelling environment". *Europ. J. Agronomy*. Vol. 18, p. 345-358. 2003.
- [10] J. C. Vanclay, "The One-minute Modeller: An Introduction to Simile". *Annals of Tropical Research* 25(1). p. 31-44. 2003.
- [11] C. J. Verissimo, R. G. da Silva, A. A. D. Oliveira,, W. R. Ribeiro e U. F. Rocha. "Resistência e suscetibilidade de bovinos leiteiros mestiços ao carrapato *Boophilus microplus*". *Boletim de Indústria Animal (Impresso)*, Nova Odessa, v. 54, n.2, p. 1-10, 1997.
- [12] C. J. Verissimo, R. G. da Silva, A. A. D. Oliveira,, W. R. Ribeiro e U. F. Rocha. "Resistência e suscetibilidade de vacas leiteiras mestiças ao carrapato *Boophilus microplus*". *Boletim de Indústria Animal (Impresso)*, Nova Odessa, v. 54, n.2, p. 11-17, 1997.
- [13] C. J. Verissimo, R. G. da Silva, A. A. D. Oliveira,, W. R. Ribeiro e U. F. Rocha "Contagens de ínstares do carrapato *Boophilus microplus* em bovinos mestiços".

Boletim de Indústria Animal (Impresso), Nova Odessa, v. 54, n.2, p. 19-24, 1997.

[14] C. J. Verissimo. "Fatores que afetam a fase de vida livre de carrapatos". In C. J. Verissimo (org.) Controle de carrapatos nas pastagens. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2013. 2-17.pp.

[15] Powell, R. T., Reid, T. J. "Project tick control". Queensland Agricultural Journal, v. 108, p. 279-300, 1982.

[16] Faza, A. P., Pinto, I. S. B., Fonseca, I., Antunes, G. R., Monteiro, C. M. O., Muniz, M. S., Martins, M. F., Furlong J., Prata, M. C. A. "A new approach to characterization of the resistance of populations of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) to organophosphate and pyrethroid in the state of Minas Gerais, Brazil". Experimental Parasitology v. 134, p. 519-523, 2013.

com ênfase em Produção Animal e controle de doenças, atuando principalmente nas seguintes espécies e temas: bovinos: controle do carrapato *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, e mastite bovina; ovinos: controle da verminose e mastite ovina.



**L. A. Ambrósio** possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP (1979), mestrado em Economia Agrária pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP (1988) e doutorado em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP

(1996). Atualmente é Pesquisador Científico, nível VI, do Centro APTA Bovinos de Leite - Instituto de Zootecnia/APTA/SAA - Nova Odessa - SP. Tem experiência na área de Economia, com ênfase em Economia dos Recursos Naturais, atuando atualmente nos seguintes temas: Cadeia de Produção de Leite, Planejamento Agro Ambiental com Programação Multicritério, Análise Emergética, Simulação Dinâmica de Serviços Ecológicos e Simulação Dinâmica de Sistemas de Produção de Leite.

<http://lattes.cnpq.br/2433019169073365>.



**C. J. Verissimo** é graduada em Medicina Veterinária pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (1982), e com Mestrado em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1991)

e Doutorado em Zootecnia - Qualidade e Produtividade Animal pela Universidade de São Paulo (2008), trabalha no Instituto de Zootecnia desde 1984, onde é pesquisador científico nível VI. Tem experiência nas áreas de Zootecnia e Medicina Veterinária Preventiva,

## 6. MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA PARA EVALUAR IMPACTOS DE EXTRACCIÓN DE MATERIALES DE ARRASTRE

### DYNAMIC SIMULATION MODEL FOR TO ASSESS IMPACTS EXTRACTION OF DRAG MATERIALS

**IRENE AYALA ARBOLEDA**

Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente  
Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle - Colombia  
arbol9012@gmail.com

**ANGELO HERNÁNDEZ GARCÍA**

Universidad del Valle - Colombia  
angelo.hernandez@correounivalle.edu.co

#### ABSTRACT

The rivers have shown large scars left by the removal of material drag, thanks to easy access and low cost of operation which does not take into account its environmental, hydrological and morphological riverbed on impact. The aim of this study is to design and build a model that integrates hydrological variables, hydraulic, sedimentological and morphological to assess impacts of drag material extraction through dynamic simulation, creating a tool for the sustainable management of environmental goods and services rivers that are under extraction of mineral resources. Systems analysis and dynamic simulation integral causal relationships between climatic, hydraulic and sedimentological aspects, taking as a criterion for assessing the impact of the variables of flow and sediment load. The study case is Bugalagrande River, source of materials for the construction industry at the center of Valle del Cauca and which is under drag extraction equipment. Generated simulation data for a period of eight (8) years from 2015, the results warn the importance of seeking alternative materials that do not come from natural water sources, and showed that it is necessary to consider aspects of climate variability, and reinforces need to mitigate this type of extraction for disrupt the natural dynamics of the river in the long run.

**KEYWORDS:** extraction, drag material, environmental impact, river dynamics

#### RESUMEN

Los ríos han mostrado grandes cicatrices dejados por la extracción de material de arrastre, gracias a su fácil acceso y a su bajo costo de explotación, que no tiene en cuenta su impacto ambiental, hidrológico y morfológico sobre el cauce del río. El objetivo de este estudio es diseñar y construir un modelo que integre variables hidrológicas, hidráulicas, sedimentológicas y morfológicas para evaluar impactos de extracción de material de arrastre mediante la simulación dinámica, generando una herramienta para la gestión sostenible de los bienes y servicios ambientales de los ríos que se encuentran bajo extracción de recursos mineros. El análisis sistémico y simulación dinámica integro relaciones causales entre aspectos climatológicos, hidráulicos y sedimentológicos, tomando como criterio para evaluar el impacto a las variables de caudal y de carga de sedimentos. El caso estudio es el río Bugalagrande, fuente de materiales para el sector de la construcción en el centro del Valle del Cauca y el cual se encuentra bajo extracción material de arrastre. La simulación generó información para un periodo de ocho (8) años a partir de 2015, los resultados obtenidos advierten la importancia de buscar materiales alternativos que no provengan de fuentes hídricas naturales, y demostró que es

necesario considerar aspectos de variabilidad climática, y refuerza la necesidad de mitigar este tipo de extracciones pues desestabilizan la dinámica natural del río en el largo plazo.

**PALABRAS CLAVE:** extracción, material de arrastre, impacto ambiental, dinámica fluvial

## I. INTRODUCCIÓN

En un planeta modelado por el agua, los ríos sólo albergan una fracción pequeña del total de agua, menor que la de cualquier otro compartimiento hidrológico. Sin embargo los afluentes de agua tienen una enorme importancia porque conectan cuencas terrestres con la atmósfera y el mar, transportando sales, sedimentos y organismos [1].

En el siglo pasado los ríos han mostrado grandes cicatrices dejados por la extracción de arenas, gravas y piedras, pues estas son fuentes de recursos naturales, gracias a su fácil acceso y a su bajo costo de explotación, sin tener en cuenta su impacto ambiental, hidrológico y geomorfológico sobre la cuenca hidrográfica.

Los materiales de arrastre (gravas y arenas) tienen alta demanda en el sector de la construcción, y son utilizados como morteros. Este fenómeno se encuentra en aumento ya que el sector de la construcción cuenta con gran dinamismo en la economía colombiana y se encuentra en crecimiento elevando año a año la demanda de materiales de arrastre [2].

En tanto cada río es un sistema de transporte donde la pendiente va disminuyendo con el gradiente fluvial. La capacidad de arrastre de sedimentos depende del caudal, el cauce y el tamaño del sedimento [3]. Así el sistema fluvial puede dividirse en tres zonas, la zona de erosión, transporte y de deposición; de esta forma la dinámica fluvial tiene un comportamiento de cinta transportadora, que transporta los productos de erosión aguas abajo a los últimos sitios de deposición, cambiando el tamaño de los sedimentos a lo largo del sistema fluvial, comenzando con arena, limos y al final en tramos inferiores grava y cantos rodados [4].

## II. DINÁMICA DE SISTEMAS

Un modelo de dinámica de sistemas permite correlacionar las influencias de las principales variables de un sistema mediante software de simulación basado en ecuaciones diferenciales de primer orden, para finalmente determinar el comportamiento del modelo formulado, permitiendo además realizar análisis de sensibilidad, escenarios y variación de parámetros con

el fin de conocer a profundidad la dinámica del sistema [16]. La dinámica de sistemas es una metodología que fundamenta en la teoría del control desarrollada por Forrester, el principio base que todo comportamiento dinámico es consecuencia de la estructura del sistema. Esta metodología se caracteriza por evaluar el comportamiento del sistema a largo plazo y la simulación de modelos abstractos basados en descripciones de la realidad. Permitiendo al modelador representar la complejidad del problema caracterizado por dinámicas no lineales, relaciones de retroalimentación y discrepancias en el tiempo y el espacio [17].

El uso de la interrelación de los componentes es la que genera el comportamiento del sistema [18], en tanto los modeladores son buenos observando el comportamiento de manera local en el corto plazo, la estructura del sistema en el largo plazo presenta un comportamiento complejo el cual no es fácil de conocer [16].

En este sentido, para conocer el comportamiento del sistema fluvial es necesario que la utilización del sistema fluvial sea basado en conocimiento competente del: ambiente climático, factores biológicos, factores hidrológicos, alteraciones en el canal, características hidráulicas en el espacio y tiempo, cambios ecológicos y biológicos, restricciones políticas y económicas [8].

En tanto el modelamiento hidrológico de cuencas y la simulación dinámica es de uso frecuente, permitiendo entender relaciones no lineales de los procesos hidrológicos [10]. Entre tanto el software de simulación dinámica es ampliamente usado para realizar modelos hidrológicos y ecológicos, permitiendo realizar aproximaciones al comportamiento de los sistemas conformados por cuerpos de agua [19].

## III. ANÁLISIS SISTEMICO

La variabilidad climática, está asociada directamente al fenómeno ENSO, El Niño en su etapa cálida y La Niña en la etapa fría, este tipo de variabilidad trae consigo una alteración en los niveles de precipitación de la zona, debido a que El Niño genera sequía y La Niña un aumento en la precipitación, alterando los niveles de

caudal; por consiguiente el aumento en los niveles de caudal, favorece que el río pueda transportar más carga de fondo, carga en suspensión y por lo tanto mayor carga total de sedimentos.

Como variable exógena, la demanda del sector de la construcción influye en la extracción del material de arrastre en el lecho del río, generando un aumento de las actividades extractivas y por consiguiente ampliaciones en el cauce, ocasionando excavaciones que rompen el nivel freático del río, aumentando el área explotada, alterando de manera permanente el equilibrio del río, lo cual se evidencia en mayores niveles de erosión del lecho del río.

Por otro lado se evidencia en el diagrama que la demanda de agua por las actividades agropecuarias y de consumo humano también influye en el caudal generando salidas de este colocando así una presión mayor sobre el río.

#### IV. SIMULACIÓN DINÁMICA

Para la simulación dinámica la herramienta a utilizar es Vensim DSS®, software basado ecuaciones diferenciales de primer orden y ampliamente utilizado en la simulación de modelos ecológicos e hidrológicos.

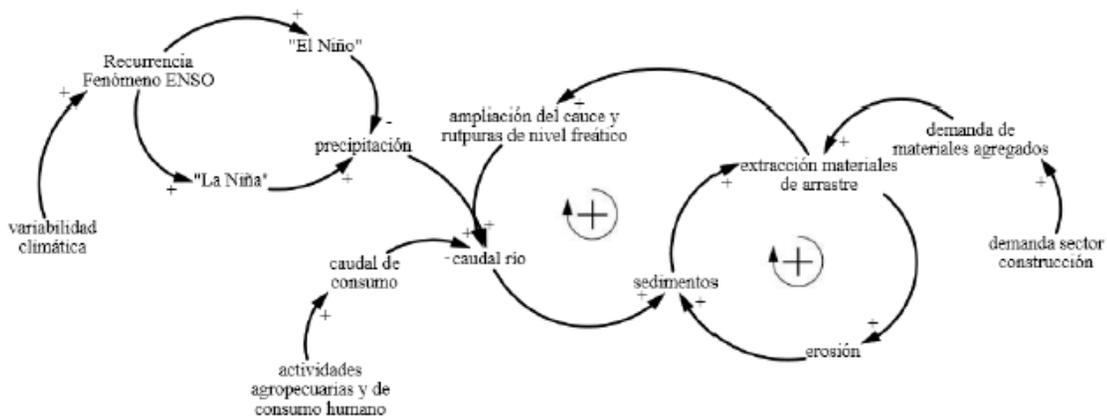


Figura 1. Diagrama causal de influencia

Los datos morfológicos, hidrológicos e hidráulicos, fueron tomados para el convenio CVC-Universidad del Valle 2008 para El estudio Integral del Río Bugalagrande para material de arrastre, también datos

obtenidos del Proyecto de Modelación del Río Cauca, y los datos climatológicos referentes al fenómeno ENSO son tomados del Climate Prediction Center

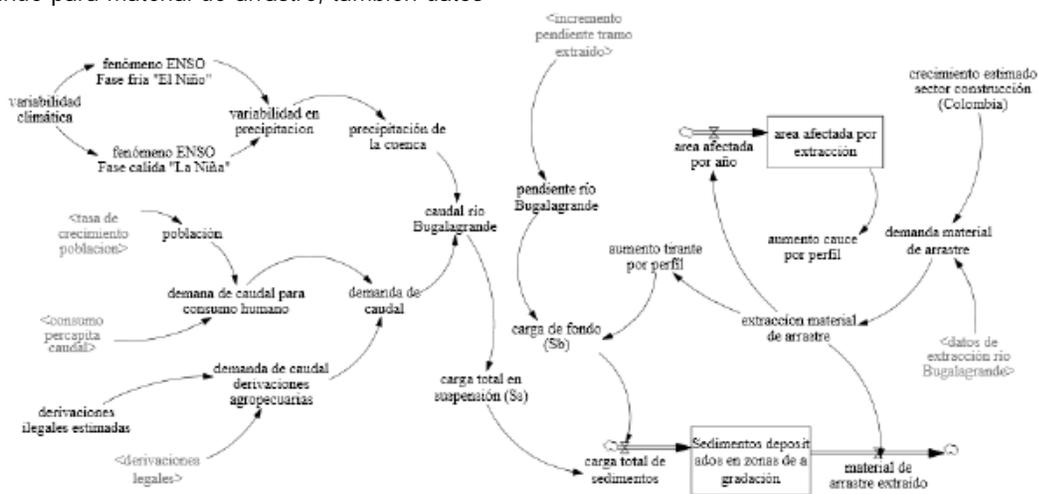


Figura 2. Diagrama de Forrester

### A. ECUACIONES PARA LA SIMULACION DINÁMICA

Con el fin de realizar la simulación dinámica en el software Vensim DSS<sup>®</sup>, se plantean las principales ecuaciones para el modelo de simulación:

Relación entre Precipitación y variabilidad climática:

La variabilidad climática se asocia al fenómeno ENSO, en base a sus dos fases: la fase cálida El Niño caracterizado por precipitaciones bajas y altas temperaturas, en tanto la fase fría La Niña con precipitaciones altas y bajas temperaturas.

*ENSO Ciclo estacional: Niño- Niña*

$P_i$  = Probabilidad Ocurrencia del fenómeno  
 $1 - P_i$  = Probabilidad de que No presentarse el fenómeno

La ocurrencia del ENSO se asocia a una función de probabilidad, y su ocurrencia solo sucede si la probabilidad de ocurrir el fenómeno es mayor un número  $a$ , determinado como la probabilidad de inminencia del fenómeno.

$$F(P_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } P_i > a \\ 0 & \text{si } P_i < a \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Ocurrencia} \\ \text{No Ocurrencia} \end{matrix} \quad (1)$$

*Relación precipitación-caudal:*

El caudal se halla en base a la precipitación y se toma en cuenta la ecuación propuesta por la UNESCO sobre balance hídrico cuando existe escasez de datos de caudal [20].

$$Q_{et} = \frac{PP_{ti} Q_{anual}}{PP_{anual}} \quad (2)$$

*Relación entre la carga de fondo y la extracción de material pétreo*

Para la estimación del transporte total de fondo se utilizó la fórmula de Parker. La ecuación predice el arrastre de fondo para condiciones de cuasi-equilibrio, en corrientes con fondo no consolidado, de tamaño medio, de pendiente moderada y con presencia de grava, pero sin acumulaciones importantes de arena en el fondo del cauce [12]. La ecuación de Parker asume la forma:

$$ib = 1400 * \left( W * g^{\frac{1}{2}} * (Y * S^{\frac{3}{2}}) / 2,65 \right) = \frac{Kg}{m * s} \quad (3)$$

Donde:

$$W = 11.2 \left( 1 - \frac{0.822}{\phi 50} \right)^{4.5} \quad \text{si } \phi > 1,65 \quad (4)$$

$$\phi 50 = \frac{\tau 50}{0.0876} \quad (9) \quad \text{y} \quad \tau 50 = \frac{(0.606 * R * S)}{D50_{sub}} \quad (5)$$

$$\text{Donde: } W = 0,0025^{\{14.2(\phi 50 - 1) - 9.28 * (\phi 50 - 1)^2\}}$$

$$\text{si } 0,95 < \phi 50 < 1,65$$

Para la estimación del transporte total de fondo se utilizó la fórmula de Parker. La ecuación predice el arrastre de fondo para condiciones de cuasi-equilibrio, en corrientes con fondo no consolidado, de tamaño medio, de pendiente moderada y con presencia de grava, pero sin acumulaciones importantes de arena en el fondo del cauce [12]. La ecuación de Parker asume la forma:

$$ib = 1400 * \left( W * g^{\frac{1}{2}} * (Y * S^{\frac{3}{2}}) / 2,65 \right) = \frac{Kg}{m * s} \quad (3)$$

Donde:

$$W = 11.2 \left( 1 - \frac{0.822}{\phi 50} \right)^{4.5} \quad \text{si } \phi > 1,65 \quad (4)$$

$$\phi 50 = \frac{\tau 50}{0.0876} \quad (9) \quad \text{y} \quad \tau 50 = \frac{(0.606 * R * S)}{D50_{sub}} \quad (5)$$

$$\text{Donde: } W = 0,0025^{\{14.2(\phi 50 - 1) - 9.28 * (\phi 50 - 1)^2\}}$$

$$\text{si } 0,95 < \phi 50 < 1,65$$

$ib$  = Tasa de descarga del sedimento normalizado

$\phi$  = Esfuerzo Hidráulico normalizado

$w$  = constante

$\tau 50$  = Esfuerzo hidráulico adimensional para D50.

*Relación entre carga total en suspensión y carga de fondo.*

Ser transportados como carga de lecho en el fondo (S<sub>bb</sub>), o como carga total de lecho suspendida (S<sub>s</sub>). La carga de lecho del Río Bugalagrande es generalmente granular de tipo piedras, gravas, y arenas [15].

$$St = S_{bb} + S_s \quad (13)$$

$St$  = Carga Total de Sedimentos.

$S_{bb}$  = Carga de Fondo.

$S_s$  = Carga en total en Suspensión (carga de lavado y sedimentos)

## V. RESULTADOS

La simulación para estados de tiempo mensuales, y se realiza para un periodo de ocho (8) años comprendido

entre 2015 a 2023, tomándose como criterio observar el fenómeno ENSO en sus distintas fases y su impacto en las principales variables tales como caudal y sedimentos.

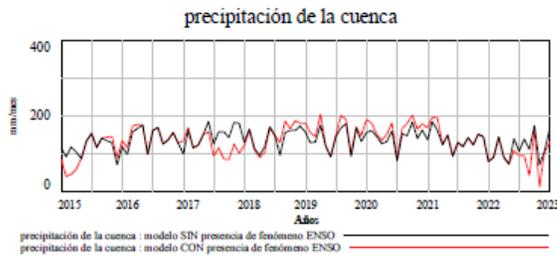


Figura 3. Precipitación del Río Bugalagrande.

La variación del fenómeno ENSO es representativa, se refleja que la presencia de “El Niño” corresponde a una disminución en los niveles de precipitación, en tanto en los meses que ocurre “La Niña” la precipitación aumenta.

Es importante el análisis de variaciones de precipitación del ENSO, porque estos fenómenos cada vez aumentan su intensidad y su periodo de recurrencia es cada vez menor. Esto afecta los niveles de caudal, provocando en periodos secos niveles que ponen en riesgo sus servicios ambientales y en periodos húmedos la presencia de inundaciones, crecidas y posibles daños en las estructuras cercanas al cuerpo de agua.

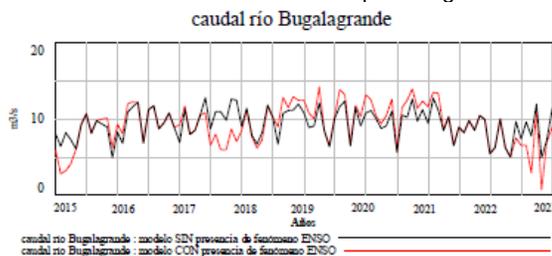


Figura 4. Caudal del Río Bugalagrande

En la Figura (4) puede observarse el caudal normal calculado en base a precipitaciones, y el caudal alterado con fenómeno ENSO, observándose que el caudal modificado producto de la extracción y de la variación climática es superior en los periodos húmedos a causa del aumento de la velocidad y el área de circulación de las aguas. El efecto más notable de este comportamiento es la pérdida de las características hidráulicas del río, lo cual puede generar un fenómeno conocido como agua hambrienta, donde el cauce es capaz de arrastrar cierta cantidad de sedimentos de fondo, y como estos han sido sustraídos del lecho, el río gana velocidad de arrastre generando una erosión e incisión en el cauce, alterando el perfil de equilibrio,

produciendo efectos negativos aguas arriba y aguas debajo del lugar de extracción. En tanto en periodos secos donde el caudal es bajo, se pone en riesgo los servicios ambientales del cuerpo de agua, debido la demanda constante de caudal.

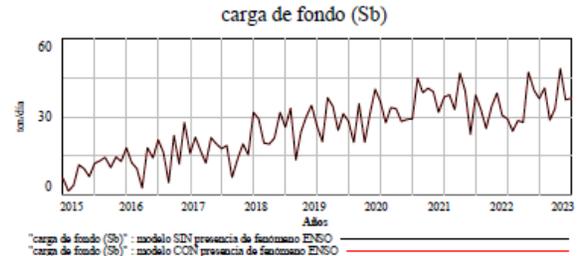


Figura 5. Transporte de Carga de fondo vs Tiempo (años).

El transporte o carga de fondo, fue calculada con el predictor de Parker (1982), donde se tuvo en cuenta la restricción al tamaño del sedimento y la pendiente. A lo largo del tiempo es un fenómeno complejo que responde a las características fluviales del río y a sus volúmenes potencialmente explotables del cauce. En tanto la variación de la pendiente del río evidencia que una extracción progresiva en el tramo intervenido, trae consigo un aumento en los niveles de transporte de carga de fondo en el tiempo, producto de la erosión y del descenso en los niveles del lecho de hasta tres (3) metros. Donde el material es removido constantemente por la erosión originada que inducen las excavaciones, disminuyendo la posibilidad de recuperación del Río.

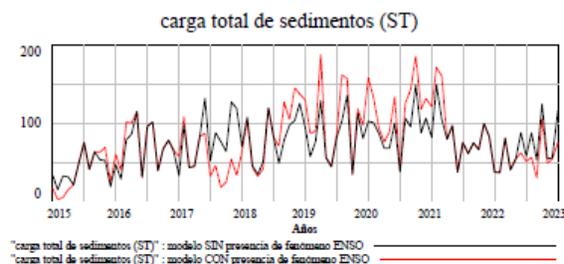


Figura 6. Carga Total de Sedimentos vs Tiempo (meses).

En la figura 6, la carga o transporte total de sedimentos, presenta una variación mayor cuando el fenómeno ENSO (La Niña y El Niño) se generan en la zona, en comparación cuando la variación climática es nula. En la fase fría se crea un incremento en los niveles de caudal, que puede generar mayor erosión en las márgenes del río, incisión e inestabilidad en el cauce producto de la sobreexplotación del material de arrastre, estos efectos disminuyen la recuperación del río. En la fase caliente (El Niño) los niveles de sedimentos disminuyen, el río pierde su capacidad de transportarlos, generando una modificación de en la morfología del

cauce, debido a que los sedimentos quedan retenidos, disminuyendo la sección transversal del río. En tanto podemos considerar que el río se encuentra en estado de equilibrio cuando no varía el perfil del fondo y los límites del cauce y por lo tanto hay compensación entre los sedimentos que son transportados, hacia el sitio y desde el sitio.

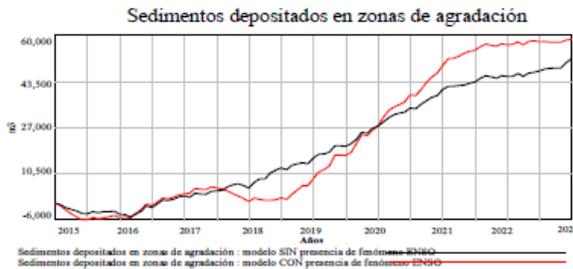


Figura 7. Sedimentos depositados en zona de agradación vs Tiempo (meses).

En la figura No 6, se observa un incremento de los sedimentos depositados en la zona de extracción, esto se debe a que la hidráulica fluvial del río Bugalagrande está sujeta a un mayor o menor grado a procesos de erosión o degradación, equilibrio y sedimentación o agradación, dependiendo de la capacidad de arrastre del río, que en últimas depende exclusivamente de los procesos hidrológicos y del grado de intervención humana. Las intervenciones humanas sobre el sistema hidráulico pueden desencadenar procesos a altas velocidades que naturalmente tardarían mucho tiempo en producirse y en algunos casos pueden llegar a ser irreversibles, generando daños en estructuras y en el ecosistema adyacente.

## VI. CONCLUSIONES

En la cuenca del río Bugalagrande, se presenta una explotación incontrolada de material de arrastre, que ha generado incisión en el cauce, aumentando el nivel de profundización del lecho. También ha generado cambio en la morfología, erosión en las márgenes del río y un agotamiento de los materiales de arrastre, producto de los escasos controles que los entes ambientales prestan a la cuenca.

La implementación del modelo de dinámica de sistemas, permitió generar información de los efectos de la sobreexplotación de materiales de arrastre en el río Bugalagrande para un periodo de ocho (8) años. Se detectó una fuerte relación entre de la precipitación de la cuenca y los procesos hidrológicos que la rodean. Donde se comparó situaciones de variabilidad climática

extrema, época seca con el fenómeno ENSO en sus fases cálida y fría.

Cuando El Niño se presenta, se evidencia un decrecimiento en los niveles de carga de sedimentos en suspensión y de fondo, debido a que el río no tiene la capacidad para transportar y depositar en la zona baja de la cuenca. En tanto la fase fría La Niña altera las condiciones de la cuenca generando un incremento en los niveles de pluviosidad, alterando las márgenes del río, debido a que él tiene más capacidad para transportar, como resultado de un incremento de la velocidad. Esto puede generar daños en las estructuras de adyacentes al río como bocatomas, en contraste en fase cálida cuando el río pierde caudal y se ponen en riesgo sus servicios ambientales.

## VII. REFERENCIAS

- [1] ELOSEGI A, & SABATER S. (2009). Conceptos y Técnicas en Ecología fluvial. Primera edición. Bilbao, España: Fundación BBVA, 73 pp.
- [2] DANE/Departamento Administrativo Nacional De Estadística (2012). Informe Trimestral PIB 2012, [en línea]. Bogotá, DANE, [revisado. 10 diciembre, 2014]. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib\\_const/Bol\\_ieac\\_IVtrim12%282%29.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_ieac_IVtrim12%282%29.pdf).
- [3] MAZA ÁLVAREZ, J & GARCÍA SÁNCHEZ J. (1996). Morfología de Ríos, Capítulo 11 del manual de ingeniería de ríos. Comisión Nacional del agua. México: Universidad Nacional Autónoma de México
- [4] BERTOGGIO, O. & JOHANSEN, O. (1982). Introducción a la teoría general de sistemas. Editorial Limusa.
- [5] KONDOLF, M. (1997). Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels G. Department of Landscape Architecture and Environmental Planning University of California Berkeley, California 94720. Environmental Management Vol. 21, No. 4, pp. 533-551. USA.
- [6] RAMÍREZ, C. A., BOCANEGRA, R. A., SANTACRUZ, S., QUINTERO, H. J., & SANDOVAL, M. C. (2009). Metodología para estimar los volúmenes máximos de explotación de materiales de arrastre en un río. Ingeniería y Competitividad, 11(2), 53-61
- [7] OSIRIS DE LEÓN, R. (2010). Problemática ambiental de la extracción de agregados fluviales en la

República Dominicana y propuesta de alternativas. Boletín Geológico y Minero, 117(4), 747-762.

[7] BREA, D & BALOCCHI, F (2010) Documento Técnico N° 22: Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas. Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ISBN 978-92-9089-152-9

[8] SIMONS, D. and SENTUR. F (1992). Sediment Transport Technology: Water and Sediment Dynamics. Edition revised, Michigan, U.S.A, Water Resources Publications, 8 pp

[9] EUSCÁTEGUI C., HURTADO G. (2011): Análisis del impacto del fenómeno la niña 2010-2011 en la hidroclimatología del país. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Colombia: IX Congreso Colombiano De Meteorología.

[10] CARVAJAL, Y., JIMÉNEZ, H., & MATERÓN, H. (1998). Incidencia del fenómeno ENSO en la hidroclimatología del valle del Río Cauca-Colombia. Bull. Inst. fr.études andines, 27(3), 743-751.

[11] POVEDA, G., & ÁLVAREZ, D. M. (2012). El colapso de la hipótesis de estacionariedad por cambio y variabilidad climática: implicaciones para el diseño hidrológico en ingeniería. Revista de Ingeniería, (36), 65-76

[12] BRAVO-ESPINOSA, MIGUEL, OSTERKAMP, WAITE R., LOPES, VICENTE L. (2004) Transporte de sedimentos en corrientes naturales: Revisión técnica de ecuaciones empíricas de predicción del arrastre de sedimentos de fondo. Terra Latinoamericana [en línea] 2004, 22 (Julio-Septiembre): [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2015] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57322315>>|SSN

[13] CVC/Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2000). Caracterización de ríos tributarios del río Cauca. Tramo Salvajina – La Virginia. Volumen IV. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR). Santiago de Cali.

[14] CVC/Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Universidad del Valle (2007): Optimización

Modelo Simulación de la Calidad del Agua del Río Cauca. Capítulo 7 Plan de Acción para la modelación de cinco ríos tributarios al río Cauca. Santiago de Cali.

[15] RAMÍREZ, C; & SANTACRUZ, S & CVC/Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2008). Estudio integral del río Bugalagrande para el ordenamiento de las actividades de explotación de materiales de arrastre: Proyectos de Modelos. Colombia. P

[16] FORRESTER, J. (1981). Dinámica de Sistemas. Buenos Aires: Editorial Ateneo.

[17] BERTOGLIO, O & JOHNSEN, O. (1982). Introducción a la teoría General de Sistemas. Editorial Limusa

[18] STERMAN, J. D. (2000). Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world (Vol. 19). Boston: Irwin/McGraw-Hill.

[19] ZHANG, L. & W. MITSCH. 2005. Modelling hydrological processes in created freshwater wetlands: an integrated system approach. Environmental Modelling & Software 20(7): 935–946.

[20] UNESCO / Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (). Métodos de Cálculo de Balance Hídrico.



**Irene Ayala Arboleda:** Estudiante de Ingeniería Agrícola de la Universidad del Valle. Tecnóloga en Ecología y manejo Ambiental de la Universidad del Valle.



**Ángelo Hernández García:** Estudiante de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle.

### AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este proyecto de investigación agradecemos a las siguientes personas:

Al Profesor Carlos Ramírez Callejas, por su aporte en la conceptualización del análisis sedimentológico y disponer de su tiempo y espacio en el laboratorio de Proyectos de Modelos de la Universidad del Valle en convenio con la CVC.

Al Profesor Yesid Carvajal Escobar, Director del Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Desarrollos de Suelos- IREHISA por su asesoría en el área de hidroclimatología.

Al Profesor Juan Carlos Osorio, profesor de planta y candidato a doctor de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle, y difusor de la dinámica de sistemas, le agradecemos por su asesoría y correcciones. Instituto de Hidrología de España, ISBN 84-500-5081-2.

## 7. SCENARIO ANALYSIS FOR COMPLEX DECISIONS

**ERNESTO ALONSO LAGARDA LEYVA, JAVIER PORTUGAL VÁSQUEZ, MARÍA DEL PILAR LIZARDI DUARTE, CARLOS ALFREDO SALAZAR HERNÁNDEZ**

Instituto Tecnológico de Sonora - México

ernesto.lagarda@itson.edu.mx, javier.portugal@itson.edu.mx, maria.lizardi@itson.edu.mx, carlossalazar.sw@gmail.com, ramiro\_pr15@hotmail.com

### ABSTRACT

The study is the result of a research project at all stages of the supply chain, considering from sourcing, production and distribution of sweet white shrimp wholesale and retail water customers, however the purpose of this article is show the dynamic behavior of the first two links from a set of variables that were selected with the view of experts in the planting and production of the final product. The use of system dynamics and use of Stella Professional 1.0<sup>®</sup> allowed simulate and observe modes of behavior to different policies in three different scenarios.

**KEYWORDS:** supply chain, system dynamics, simulation, scenario analysis.

### I. INTRODUCCIÓN

El municipio de Cajeme, cuenta aproximadamente con 298,625 habitantes de acuerdo a datos registrados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). La mayoría de su población está especializada en actividades agropecuarias, ramas agroindustriales y servicios de apoyo al sector agrícola, así como al desarrollo de la industria procesadora de alimentos. A partir de este punto se establece en el proyecto de investigación, un nuevo enfoque dando la entrada al estudio de crustáceos, como lo es el camarón blanco de cultivo en agua dulce. Con base a un estudio realizado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentos (SAGARPA), se obtiene como información relevante que el camarón es uno de los alimentos más populares y de consumo creciente en el mundo, lo que ha originado que varios países se dediquen al cultivo de esta especie de alto valor comercial; debiéndose en parte a la sobre explotación de los recursos pesqueros que han venido generando una demanda de los productos marinos de alta calidad en países desarrollados; esto es una oportunidad comercial para países como México como exportador de especies marinas tanto de captura como de cultivo [1].

INEGI, comparte mediante estudios realizados, que en México, la explotación del camarón blanco ocupa el cuarto lugar dentro de las industrias pesqueras de mayor producción y representa en la actualidad una importante fuente de divisas para el país. Los aportes de la acuicultura han dado al sector la capacidad suficiente para cubrir la creciente demanda interna, salvo algunos periodos estacionales y tallas grandes del producto [2].

La producción de camarón en México se obtiene de tres fuentes: altamar o mar abierto, esteros o bahías, así como de cultivo, siendo este último el más importante y que ha superado a la pesca, porque en el cultivo se puede "programar" y decidir el área a sembrar, el número de cosechas al año y se tecnifican las granjas con aireadores, lo que permite mayor densidad; a diferencia de la pesca que es una actividad silvestre que depende del medio natural y tiene un volumen limitado con base a la sustentabilidad del recurso mismo.

El Departamento de Acuicultura que gestiona las actividades del Centro Experimental de Transferencia Tecnológica (CETT 910) donde se encargan de la cría de camarón blanco de agua dulce e investigación de métodos de crianza, formó parte de un proyecto financiado por un año para el desarrollo de un modelo de mayor escala empleando la DS y que le apoyaría en

establecimiento de las políticas para observar los modos de comportamiento en los eslabones de la cadena de suministro en específico el de abastecimiento y producción que son en donde mayor control tienen sobre las variables y parámetros.

### 1) Objetivo.

Desarrollar un modelo de Dinámica de Sistemas para el análisis de escenarios para la cadena de suministro del camarón blanco de agua dulce.

### 2) Planteamiento del problema.

El CETT 910 ha operado desde 1981 y busca contribuir en la integración de las principales cadenas alimentarias de los sectores agrícolas, acuícola y pecuario, a través de la validación y transferencia de tecnología, así como la generación y aplicación del conocimiento, para apoyar el desarrollo socioeconómico del Estado de Sonora.

La producción del camarón blanco de agua dulce es un producto que año con año se desarrolla y genera una producción promedio de 3000 kg por ciclo en un periodo de dos meses; el producto camarón blanco se inicia a partir del cultivo de 800,000 larvas sembradas dentro de un estanque de agua dulce, en un espacio de 3,000 m<sup>2</sup> de área, considerando un proceso hiperintensivo de 300 camarones por m<sup>2</sup> con una producción esperada de 3 toneladas por ciclo.

Para el CETT 910 es importante contar con un modelo que muestre el comportamiento desde su siembra hasta la entrega del producto a los clientes mayoristas y minoristas, ante ello se plantea la siguiente pregunta de investigación para resolver el problema: ¿Bajo qué escenarios es recomendable la cantidad correcta de producción de camarón blanco de agua dulce que permita lograr utilidad y satisfacer la demanda de mayoristas y minoristas?

### 3) Justificación

Es un hecho que en la actualidad aún se presentan problemas en productos perecederos en el intento de conservarse ante los factores que los afectan principalmente tales como la temperatura, la humedad y agentes contaminadores en el ambiente. La cadena de suministro del camarón juega un papel muy importante para entender y gestionar las interacciones que el producto enfrenta desde su inicio hasta a su destino.

Las PyMEs que realizan actividades de cultivo, procesamiento y distribución del camarón blanco, si no

realizan una evaluación de la cadena de suministro están susceptibles a riesgos de diferentes magnitudes como generar grandes pérdidas económicas por no lograr colocar sus productos en las mejores condiciones en el anaquel aparte de no alargar su duración en los mismos, pérdidas del mismo producto y hasta el fracaso total de la empresa. Por consecuencia, cada riesgo tomado puede significar la pérdida de competitividad ante las demás empresas del mismo giro.

Las empresas locales que se identifican con la cadena de frío y llevan a cabo todas las actividades necesarias para la conservación del camarón blanco lo han hecho sin tener un conocimiento actualizado de cada una de sus actividades, lo que provoca fracasar en el eslabón donde participa. Es ahí donde existe un área de oportunidad para contribuir a que los empresarios puedan identificar los puntos de mejora, otorgándoles información de gran importancia sobre el desempeño de sus actividades en la cadena de suministro que se tendrá en diferentes lapsos de tiempo y a su vez permitir comparar diferentes escenarios para la toma de decisiones.

Un aspecto importante por lo cual es necesario desarrollar este proyecto es reconocer que los resultados de las empresas locales no necesariamente significa el éxito para toda la cadena de suministro del producto específico. El hecho de confiar en un éxito prematuro sin tomar en cuenta la importancia del giro de la empresa que se encuentra en operación tiene una posibilidad muy alta de fracaso. Por lo anteriormente mencionado se hace la siguiente reflexión: se debería mirar a la cadena de suministro del bien específico que deseamos consumir o comercializar en su totalidad más que en cada uno de sus unidades productivas para llevar a cabo la toma de decisiones con bases fuertes y con un argumento consolidado.

Si el proyecto no se realizara, el estado actual de las Pymes seguiría siendo el mismo, no contarían con una forma de evaluación del comportamiento de la cadena de suministro a través del tiempo, así como la falta de información para evaluar el comportamiento de algunas variables críticas en el desempeño de las actividades necesarias en la conservación del camarón.

### 4) Delimitaciones de la investigación.

El proyecto se encuentra delimitado para lograr alcanzar el objetivo planteado. Las delimitaciones estimadas en el desarrollo del proyecto fueron:

- a) El estudio se llevará a cabo sólo para un producto, camarón blanco de agua dulce.
- b) Sólo se enfocará en las PyMEs que por su giro participen en el sector económico secundario en el grupo de industrias manufactureras asociadas con el consumo del producto camarón de agua dulce.
- c) El producto que será objeto de estudio categorizado "de frío" por sus requerimientos de conserva, es el camarón blanco.
- d) Como único patrocinador de información expertos del Departamento de Acuicultura del ITSON ubicados en el municipio de Cajeme.
- e) El eslabón de abastecimiento es el único a diseñar con base a la información proporcionada por los patrocinadores, los eslabones de producción y distribución quedan a realizarse a través de información recuperada por fuentes de información oficiales.
- f) Datos recuperados y utilizados en el estudio solamente sobre las PYMEs de Cajeme.
- g) Los resultados no son generados mediante la utilización de datos referidos a estos tecnológicos, análisis financieros y/o costo beneficio de ningún tipo. Sólo son utilizados datos cuantitativos para el producto específico correspondientes a unidades de larvas y camarones, unidades de medida como kilogramos o toneladas y porcentajes de riesgo para representar la incertidumbre real.

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el estudio "mapeo de cadena de valor aplicado a la industria de alimento" realizado por una consultora internacional, se identificó que los 30 pasos identificados en la cadena de suministro tiene una duración de 12.5 días, de los que únicamente 48 minutos aportan valor agregado para el cliente. De esos 12.5 días, 9.3 transcurren en transporte y el resto en planta, lo que representa 74.4 y 25.6% respectivamente [3]. Por otro lado, la escasez de tolvas dificulta el movimiento de trigo por tren lo que lleva a que hasta 200 mil toneladas permanezcan retenidas en puertos mexicanos y además se encarezca el transporte por esta vía [4].

Se define a la cadena de suministro como el conjunto de empresas eficientemente integradas por los proveedores, los fabricantes, distribuidores y vendedores (mayoristas o detallistas) coordinados para ubicar uno o más productos en las cantidades correctas, en los lugares correctos y en el tiempo preciso, buscando el menor costo de las actividades de valor de los integrantes de la cadena y satisfacer los requerimientos de los consumidores [5].

La metodología de dinámica de sistemas (DS) representa una aportación importante para el desarrollo de modelos complejos que con el empleo de software especializado puede simularse para mostrar diferentes escenarios de comportamiento en un horizonte de tiempo determinado. Según [6], creador de la metodología de dinámica de sistemas, establece que es posible crear modelos de sistemas con cierto grado de complejidad que interactúan en forma constante con el medio. La propuesta metodológica contempla las siguientes fases:

**(1) Fase de conceptualización:** Consiste en la adopción de una perspectiva y en el esbozo de una comprensión de un cierto fenómeno del mundo real, tras estar familiarizado con la información, deberá definirse con precisión los aspectos del problema que se desea resolver y describirlo en forma precisa y clara. A partir del conocimiento previo sobre estructuras simples de comportamiento de sistemas dinámicos se tratará de particularizar el comportamiento dinámico relevante del sistema bajo estudio, así como la estructura más simple que pueda generar el comportamiento.

De esta manera y de forma progresiva, se van identificando los distintos elementos que formaran el sistema, lo que conduce de modo natural al establecimiento de los límites del sistema y a una descripción de los bucles de realimentación (comportamientos causales positivos y negativos), surge así el diagrama causal complejo con lo que se puede considerar finalizada esta etapa [7].

En la construcción del modelo la fase de conceptualización requiere la mayor atención del modelador y es considerada como la más importante es aquí donde la capacidad y el conocimiento del sistema a estudiar tiene gran importancia, es decir, la aproximación de la solución a la realidad del sistema dependerá básicamente de esta etapa. Para enriquecer la metodología se tomarán en cuenta los puntos de vista de diversos autores ([7], [8], [9], [10]).

**(2) Fase de Formulación:** Trata de la representación de los elementos intuitivos elaborados en la fase de conceptualización por medio de un lenguaje formal, se consideran para esta etapa tres puntos importantes: desarrollar el diagrama de bloques (diagrama de Forrester); estimar y seleccionar las variables y parámetros del modelo y determinar las relaciones matemáticas del modelo (modelo formal).

**(3) Fase de Simulación del modelo y escenarios.** La simulación del modelo permitirá observar los diferentes modos de comportamiento del sistema de las variables asociadas en los eslabones de la cadena de suministro bajo el enfoque de modelado de la propuesta de Forrester ([9], [11], [12], [13]).

El uso del Software Stella Professional<sup>®</sup> fue empleado en esta investigación dado que contiene los elementos necesarios y suficientes para el modelaje de sistemas complejos, Stella Professional, permite la captura de todas las relaciones matemáticas y la simulación es visualmente más potente para el usuario, ambas se fundamentan además para la simulación del modelo en métodos numéricos como Runge-Kutta o el de Euler para ecuaciones diferenciales de orden  $n$ . los cuales son programas de simulación por computadora que proporciona un marco de referencia y una interface gráfica del usuario para la observación e interacción cuantitativa de las variables de un sistema [14]. El análisis de escenarios se realiza a partir de los resultados del modelo, una vez que ha sido sometido a varios criterios de aceptabilidad, los escenarios requieren considerar información del comportamiento histórico, así como las tendencias de futuro.

Los estudios empíricos revisados y que son similares a esta investigación con aplicaciones y uso de modelos de dinámica de sistemas para el apoyo a la toma de decisiones permitieron ampliar la visión para la construcción de la propuesta final ([15], [16], [10], [17], [18]). De igual forma, se revisaron las propuestas de estudios empíricos, para fundamentar los tres escenarios que se proponen por cada uno de los eslabones de la cadena de suministro del producto camarón de agua dulce de diversos autores. ([11], [20], [21], [22]).

### III. MÉTODO

El artículo que se presenta, muestra las primeras etapas del proyecto asociadas al desarrollo del modelo dinámico para dos eslabones de la cadena de

suministro del producto en frío del camarón blanco de agua, considerado el objeto bajo estudio.

El modelo y la simulación de los tres escenarios fue desarrollada en el software especializado, Stella Professional V 1.0<sup>®</sup>.

El procedimiento siguió las siguientes etapas:

#### **Seleccionar las variables y parámetros relevantes.**

Se analizó el producto camarón blanco, con el propósito de conocer su proceso y las relaciones que tiene conforme a las variables detectadas como mortalidad, desvíos, consumo y sus parámetros para crear un modelo conceptual. Dicha información fue obtenida mediante una visita al campo donde se cultiva y se cosecha el camarón blanco mediante prácticas en agua dulce analizando cada una de las actividades llevadas a cabo en el sistema de crecimiento que mantienen. El resultado de esta fase fue un diagrama causal que representa las relaciones de variables y parámetros en la cadena de suministro en un horizonte de tiempo definido, empleando el software Vensim PLE Plus<sup>®</sup>. Este diagrama fue creado mediante la relación lógica de comportamiento que existe entre los factores existentes en un sistema, en el caso específico el camarón blanco.

**Desarrollar el diagrama de Forrester.** Se elaboró un diagrama de Forrester y la ecuación del modelo matemático, empleando el Software Stella Professional. A su vez se obtuvo un diagrama de Forrester general de la cadena de suministro del camarón, en base a información que se tenían de los diagramas causales y tomando en cuenta variables que surgieron de la investigación que se llevó a cabo en el campo de cultivo de camarón antes mencionado. Este diagrama parte de enlazar cada actividad y operación encontrada dentro de un determinado sistema complejo para poder generar flujos de comportamiento y crear relaciones entre las distintas partes de la cadena de suministro con el propósito de mostrar resultados de la simulación.

**Desarrollar el modelo matemático.** En esta etapa se realizó la estructura matemática del modelo tomando como periodo de prueba de 135 días, lo que abarca un ciclo de cosecha que refiere a 121 días; así como pruebas de hipótesis dinámicas y la validación del modelo, empleando el software Stella Professional. Como resultado se obtuvieron un conjunto de ecuaciones dinámicas que permitirían observar los escenarios y comportamientos gráficos de las actividades involucradas en un tiempo determinado y en

un cierto ciclo de producción de camarón considerando las variables necesarias.

**Simular el modelo y análisis de escenarios.** En esta etapa se realizó la comparación del modelo en diferentes escenarios, empleando el software Stella Professional. Para la obtención de resultados en el análisis de sensibilidad se adaptaron tres escenarios denominados "Actual", "Pesimista" y "Optimista", los cuales utilizaban parámetros cuantitativos que definen el comportamiento del modelo como tasas de mortalidad y desvíos de producto en rangos normales, malos para bajar cifras de producción de camarón y buenos para aumentar las mismas, respectivamente.

Al configurar los parámetros de cada escenario se realizó la simulación del modelo en 135 días dado que es un período de tiempo que cubre el ciclo de cosecha de 121 días consecutivos y un margen de tiempo para que se lleve a cabo la distribución del camarón blanco. Los escenarios han sido comprobados y validados por expertos en el tema y se encontró que existe un acercamiento considerable entre lo simulado a lo real registrado por el Departamento de Acuicultura en sus pruebas de cultivo de camarón blanco.

**IV. RESULTADOS**

**1. Variables y parámetros seleccionados.**

Derivado del análisis de la información se seleccionaron las siguientes variables relevantes y parámetros que son presentados en la Tabla 1. Se consideran solamente una muestra; el total de las variables está contemplada en el modelo de Forrester.

TABLA 1. VARIABLES Y PARÁMETROS CON SUS VALORES INICIALES	
Variables de nivel:	Variables de Flujo
Población de Larvas	Crecimiento
Aclimatación	Perdidas
Pre-cría	Envíos a Almacén
Engorda	Recepción
Cosecha	Lavado
Inventario fase A	Preclasificado
Inventario fase B	Ventas
Inventario fase C	Compras Mayoristas
Cientes Mayoristas	Compras Minoristas
Cientes Minoristas	FS consumidores minoristas
Variables auxiliares:	Parámetros:
Diferencia Larvas	Tasa de crecimiento
Diferencia Cosecha	Tiempo larvas
Diferencia Almacén C	Tiempo aclimatación
Diferencias Mayorista	tiempo pre-cría
Diferencias Minorista	tiempo engorda

La tabla muestra 10 variables de nivel que componen la cadena de suministro; 14 variables de flujo, 5 variables auxiliares y 18 parámetros empleados en el modelo dinámico

**2. Diagrama de Forrester.**

Empleando Stella Professional se ha desarrollado el diagrama de Forrester presentado en la Fig. 1, el modelo tiene tres apartados, el eslabón de abastecimiento, el eslabón de producción y el de distribución.

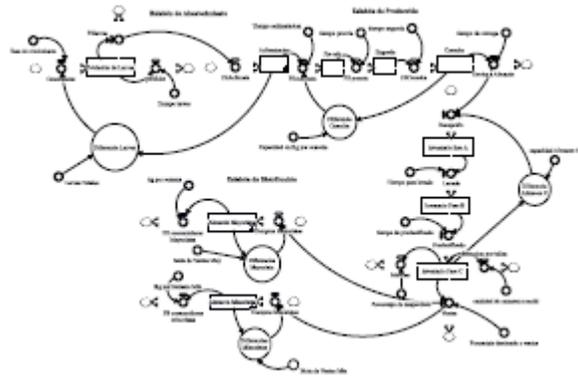


Figura 1. Diagrama de Forrester de la cadena de suministro del producto camarón blanco de agua dulce, Fuente: elaboración propia a partir de [18].

**3. Modelo matemático.**

Las relaciones matemáticas se desprenden del diagrama de Forrester y se presenta un resumen de las mismas a manera de representación por cada uno de los eslabones de la cadena de suministro.

**1) Ecuaciones de Nivel:**

*1) Ecuaciones de Nivel:*

$$PL(t + dt) = PL(t) + \int_0^{120} (Cr - Pe - FSL) dt \tag{1}$$

$$Co(t + dt) = Co(t) + \int_0^{120} (FSCo - EnAl) dt \tag{2}$$

$$Cl May(t + dt) = Cl May(t) + \int_0^{120} (Co may - FSCon) dt \tag{3}$$

Donde:

PL (t) = Población de Larvas, el valor inicial es de 800,000 larvas en el tiempo 0.

Cr = Crecimiento de larvas.

Pe= Perdidas de larvas por muertes.

FSL = Flujo de salida de larvas hacia el proceso de Cosecha.

Co = Cosecha, el valor inicial es de 100 kg de Camarón en el tiempo 0

FSCo = Flujo de Salida larvas convertidas en camarón blanco a cosecha

EnAl = Envíos de camarón hacia el almacén.

CI May =Clientes mayoristas, valor inicial 100 kg en el tiempo 0.

Co May = Compras de los mayoristas.

FSCon = flujo de salida a consumidores mayoristas.

## 2) Ecuaciones de flujo:

$$\begin{aligned} C_{May}(t) &= STEP(Diferencias_{(t)Mayorista} - Ventas(t), 90días) & (4) \\ FSConM(t) &= (CI_{Ma})(K_{smay}) & (5) \\ C_{Min}(t) &= STEP(Diferencias_{(t)Minorista} - Ventas(t), 90días) & (6) \\ FSCMin(t) &= (CI_{Mi})(K_{smin}) & (7) \\ FSC(t) &= STEP(((Engorda(t) * 0.95) - tiempo de engorda) & (8) \\ EA(t) &= STEP(((Cosecha(t) * 0.9) - tiempo de entrega) & (9) \\ Cre(t) &= (DI)(Tc) & (10) \\ FSL(t) &= (PL)(0.5) & (11) \end{aligned}$$

Donde:

Cmay = Compras Mayoristas

FSConM =FS\_consumidores\_Mayoristas

CI<sub>Ma</sub>=Clientes\_Mayoristas que demandan camarón

K<sub>smay</sub>=kg\_por\_semana de camarón

C<sub>min</sub> = Compras\_Minoristas

FSC<sub>min</sub> = FS\_consumidores\_\_minoristas,

CI<sub>Mi</sub>=Clientes\_Minoristas

K<sub>smin</sub>= Kg\_por\_Semana\_Min

FSC =FSCosecha = Flujo de salida a Cosecha de camarón

EA= Envios\_a\_Almacén

Cre = Crecimiento

DI= diferencia de larvas

Tc =Tasa\_de\_crecimiento

P =perdidas

TI =Tiempo\_larvas

## 3) Ecuaciones Auxiliares

$$\begin{aligned} DMay(t) &= (MVMay - CMay) & (12) \\ DMin(t) &= (MVMin - CMin) & (13) \\ DAc(t) &= (CAc - Ic) & (14) \\ DI(t) &= (IF Acl < 0 THEN Lt - Acl ELSE 0) & (15) \\ Dc(t) &= (CAc - Co) & (16) \end{aligned}$$

Donde:

DMay =Diferencias\_\_Mayorista

MVMay = Meta\_de\_Ventas\_May

CMay =Clientes\_Mayoristas

DMin =Diferencias\_\_Minoristas

MVMin = Meta\_de\_Ventas\_Min

CMin =Clientes\_Minoristas

DAc=Diferencia\_Almacén\_C

CAc= capacidad\_Almacén\_C

Ic =inventario\_Fase\_C

DI =Diferencia\_Larvas

Acl= Aclimatacion

Lt = Larvas totales

Acl =Aclimatacion

Dc = Diferencia\_\_Cosecha

Cac= Capacidad\_en\_Kg\_

## 4) Parámetros:

kg\_por\_semana = RANDOM(0.60,1,0.345)

Kg\_por\_Semana\_Min = RANDOM(0.6, 0.95, 213)

Larvas\_Totales = 800

Meta\_de\_Ventas\_May = 30000

Meta\_de\_Ventas\_Min = 60000

Porcentaje\_destinado\_a\_ventas = 0.80

Porcentaje\_de\_desperdicio = 0.02

Tasa\_de\_crecimiento = 0.65

Tiempo\_aclimatacion = 15

tiempo\_de\_entrega = 0.028

tiempo\_de\_preclasificado = 0.138

tiempo\_engorda = 120

Tiempo\_larvas = 0.05

Tiempo\_para\_lavado = 0.138

tiempo\_precría = 7.5

cantidad\_de\_camarón\_a\_surtir = 0.98

capacidad\_Almacén\_C = 3000

Capacidad\_en\_Kg\_por\_cosecha = 3000

## 4. Simulación del modelo y análisis de escenarios.

Escenario A. Las compras se han considerado que pueden variar desde un 60 a un 100 por ciento y esto es lo que ocasiona el comportamiento variable asociado a las compras y consumo de los clientes mayoristas que se muestra en la gráfica de la Fig. 2.

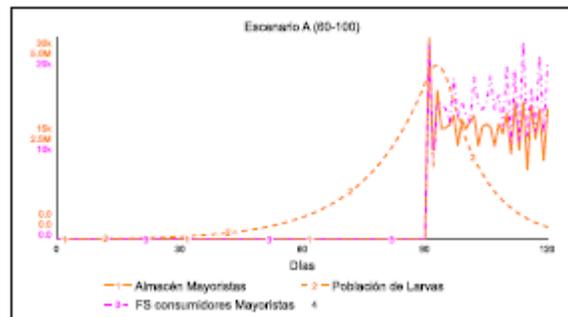


Figura. 2 Escenario A que considerar variación de 60 a 100% en el consumo de camarón por los clientes mayoristas.

El escenario A, establece que a partir de una población de 800,000 larvas sembradas se tendrán en el día 121, la cantidad de 20,000 kg de camarón blanco de agua dulce para atender la demanda para los consumidores mayoristas de 18,000 kg, lo que genera un faltante de 2,000 Kg, si esto se traduce a un costo de oportunidad en el que el precio de venta del camarón es de 130 pesos el Kg, se estaría dejando de ingresar \$260,000. Se observa que es a partir del período 90 cuando inician las compras, esto obedece a que en ese momento ya una cantidad de larvas se ha convertido en camarón

blanco para su venta. El total de ingresos actuales por el consumo de los mayoristas sería de \$2,340,000 en la temporada.

*Escenario B.* Las compras se han considerado que pueden variar desde un 0 a un 50 por ciento y esto es lo que ocasiona el comportamiento variable asociado al inventario de camarón blanco, generado a partir del período 90 y consumo de los clientes mayoristas que se muestra en la gráfica de la Fig. 3.

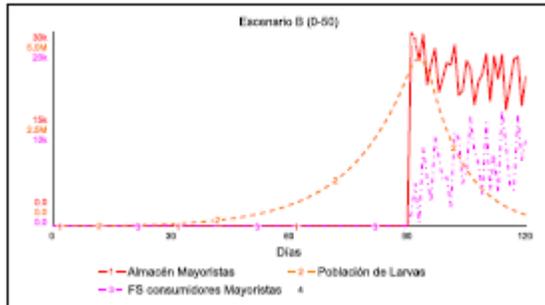


Figura 3. Escenario B que considerar variación de 0 a 50% en el consumo de camarón por los clientes mayoristas.

El escenario B, establece que a partir de una población de 800,000 larvas sembradas se tendrán en el día 121, la cantidad de 8,900 kg de camarón blanco de agua dulce para atender la demanda para los consumidores mayoristas de 23,000 kg, esto genera un faltante de 14,100 kg, el costo de oportunidad es de \$1,833,000, partiendo de un precio de venta de 130 pesos por cada kg. Se observa que es a partir del período 90 cuando inician las compras por los mayoristas. Los ingresos apenas alcanzan un total de \$1,157,000 por temporada Escenario C. La cantidad de camarón en almacén, asociada a lo que los consumidores demandarán y esto es lo que ocasiona el comportamiento variable asociado a las compras y consumo de los clientes mayoristas, sin embargo se observa que las diferencias son menores que los otros dos escenarios, el comportamiento se muestra en la gráfica de la Fig. 4.

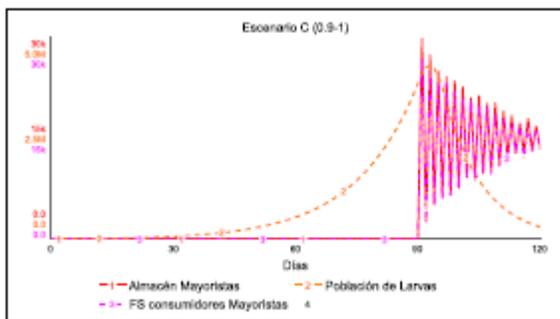


Figura 4 Escenario A que considerar variación de 90 a 100% en el consumo de camarón por los clientes mayoristas.

El escenario optimista, establece que a partir de una población de 800,000 larvas sembradas se tendrán en el día 121, la cantidad de 14,000 kg de camarón blanco de agua dulce para atender la demanda para los consumidores mayoristas de 13,000 kg, lo que genera un faltante de 1,000 Kg, si esto se traduce a un costo de oportunidad en el que el precio de venta del camarón es de 130 pesos el Kg, se estaría dejando de ingresar \$130,000. Se observa que los ingresos por esta política es de \$1,690,000 por temporada. La Tabla 2 muestra un resumen de los tres escenarios.

TABLA 2. RESUMEN DE LOS ESCENARIOS A, B, C Y ACTUAL.

Escenario	Almacén de mayoristas (kg/ciclo)	Consumidores mayoristas (kg/ciclo) <sup>1</sup>	Ingresos (\$/ciclo)
A	20,000	18,000	\$2,340,000
B	23,000	8,900	1,157,000
C	14,000	13,000	\$1,690,000
Actual	0	3000	\$390,000

TABLA 2. CONTINUACIÓN.

Escenario	Inventario (kg/ciclo)	Costo de Oportunidad (\$/kg)	Ingresos Netos proyectados <sup>2</sup> (\$/ciclo)
A	2,000	\$260,000	\$ 2,600,000
B	14,100	1,833,000	2,990,000
C	1,000	130,000	1,820,000
Actual	0	0	390,000

La información muestra que si el criterio para definir el mejor escenario fueran los ingresos reales por cada ciclo, el escenario A sería el más adecuado; sin embargo, si el criterio fuera el que mantiene mayor eficiencia en términos de atención a la demanda atendida a los mayoristas en función del camarón que ingresa al almacén el que mejor eficiencia tiene es el escenario C con un 93% de eficiencia. El peor escenario es el B en ambas situaciones, al reportar el costo de oportunidad más elevado y que es producto del camarón en inventario que se tiene.

Se ha colocado el escenario actual donde se parte de la premisa de que bajo las condiciones actuales la máxima producción sería de 3000 kg en el ciclo generando un ingreso de \$390,000; se parte de que no se generan inventarios por lo tanto se descarta el almacén y que toda la producción está comprometida al 100%.

## V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Los estudios en las cadenas de suministro para las Pymes hoy en día requieren ser apoyadas con propuesta que les permitan agregarles valor (económico, social y medioambiental), la propuesta que se desarrolló en esta investigación se apoyó en el uso de la metodología de dinámica de sistemas para observar los diferentes modos de comportamiento en la

logística de su cadena de suministro, ofreciendo una alternativa más para los tomadores de decisiones.

En este sentido se debe prever que tomar una decisión con políticas de alto impacto puede afectar (positiva o negativamente) el comportamiento de un eslabón a otro (abastecimiento-producción-distribución) hasta el último de la cadena (cliente final), es importante destacar que la propuesta es el resultado de una investigación desarrollada en una granja que pertenece al Centro Experimental de Transferencia Tecnológica y que es también la productora de camarón blanco de agua dulce; el modelo original ha sido sintetizado y se le han realizado modificaciones, sometiéndolo a nuevos parámetros para el análisis de tres diferentes escenarios A, B y C que permitirán a los tomadores de decisiones (partes interesadas) decidir cuál y en qué momento aplicar las políticas de variación según sea el caso, tomando como base el escenario actual.

Por otro lado, se puede establecer que uno de los propósitos de este artículo es ofrecer una propuesta adicional para la cadena de suministro del producto camarón de agua dulce para evaluar el desempeño de cada una de las variables que está implícita en los eslabones desde el de abastecimiento hasta la entrega (distribución) del producto terminado a los clientes finales (mayoristas y minoristas). La complejidad del modelo está asociado a las condiciones actuales del Centro Experimental de Transferencia de Tecnológica.

En este artículo se muestra el análisis con base en la simulación de los tres escenarios la cadena de suministro para un producto en frío del camarón blanco de agua dulce y ha sembrado las bases para iniciar una segunda fase de proyecto en el producto camarón de agua marina para las pymes que demandan este producto para su procesamiento y venta a los consumidores que forma parte de las iniciativas del CETT910.

#### AGRADECIMIENTOS.

Los autores, E.A.L.L.; J.P.V.; M.P.L.D.; C.A.S.P. y R.P.R., agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y al Instituto Mexicano del transporte (IMT) por el apoyo otorgado a través del "Laboratorio Nacional Sistemas de Transporte y Logística" (SiT-LOG Lab), así mismo la determinación y esfuerzo de la Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, A.C. [AML] y del IMT para el desarrollo de la internacionalmente reconocida plataforma de colaboración que es actualmente el

Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro

[CiLOG]. Los autores agradecen el financiamiento por parte del ITSON. Asimismo se agradecen el financiamiento por parte del ITSON en el marco del Programa de Fomento y Apoyo a Cuerpos Académicos [Profapi-2014] y al comité científico del XIII Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas por las observaciones que enriquecieron este artículo.

#### REFERENCIAS

- [1] SAGARPA. (2009). Retrieved Septiembre de 2014 from SAGARPA: [http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios\\_promercado/CAMARONICULTORES.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/CAMARONICULTORES.pdf)
- [2] [INEGI. (2011). Retrieved 2014 from Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www.inegi.org.mx>
- [3] S, M. D. (2014). Industria Alimentaria Precisa Bajar Costos de Transporte. T21.
- [4] Fuentes, J. L. (2014). Por falta de equipo ferroviario hay 200 mil toneladas de trigo retenidas en puerto. T21.
- [5] SCOR. (6 de 5 de 2014). SCOR . Retrieved 2014 from Supply Chain council: <https://supply-chain.org/scor>
- [6] Forrester. (1981). Dinámica Industrial. Buenos Aires, Argentina: El Ateneo.
- [7] Senge, P. (1995). La quinta disciplina: El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje. Granica.
- [8] Randers, J. (1980). Elements of the study dynamics method. Portland, OR, USA: Productivity Press.
- [9] Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). Dinámica de Sistemas. Madrid, España: Alianza editorial
- [10] Lagarda, E., Coronado, E., Portugal, J., & Cinco, J. (2013). Grupo Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Retrieved 4 de 5 de 2014 from XI Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas: <http://www.onceclads.com>
- [11] Arvis, J., Savslasky, D., Ojala, L., Shepherd, B., Busch, C., & Raj, A. (2014). Connecting to compete

- 2014, trade logistics in the global economy. The World Bank. Washington DC: The World Bank.
- [12] FAO . (08 de Marzo de 2012). Retrieved 17 de Septiembre de 2014 from Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura: <http://www.fao.org/news/story/es/item/128142/icode/>
- [13] Lagarda, E. (2010). Strategic planning from casual models of the centers of innovation and development as the basis for building scenarios based on Itson's innovation ecosystems. Social and Organizational Performance Review -Concepts and Research- , 51-72.
- [14] Cervantes, A., Chiappa, X., & Simoes, N. (2007). Manual práctico de Stella, software de modelación dinámica. Retrieved 19 de Octubre de 2014 from [http://190.254.1.202/ingenieria/DCTOS\\_SIMULACION/manual\\_ithink.pdf](http://190.254.1.202/ingenieria/DCTOS_SIMULACION/manual_ithink.pdf)
- [15] Iñaki, C. (2010). From <http://www.ehu.es/i.morlan/tesis/memoria/TesisIMcomp leta.pdf>
- [16] Ramírez, S. (2010). Modelización de una cadena de abastecimiento (supply chain) para el sector textil-confeccion en el entorno colombiano. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín: UNC.
- [17] Portillo, R., & Salazar, C. (2014). Evaluación del desempeño de la cadena de suministro con dinámica de sistemas y escenarios del camarón de agua dulce de las pequeñas y medianas empresas de Cajeme en el sector secundario (tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, México
- [18] Aguilar, M, & Castillo, M. (2014). Evaluación del desempeño de la cadena de suministro con dinámica de sistemas y escenarios del trigo de las pequeñas y medianas empresas de Cajeme en el sector secundario (tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, México
- [19] Ogilvy, J. (2006). Education in the information age:scenarios, equality and equality. Berkeley, CA, USA: GBN.
- [20] Schwartz, P. (1991). The art of the long view, planning for the future in an uncertain world. New York, NY, USA: Currency Doubleday.
- [21] Tseng, Y., Wang, W., & Weiyang, M. (2012). A System Dynamics Model of Evolving Supply Chain Relationships and Inter-firm Trust. Tunghai University, Taiwan, Business Administration. Massachusetts: System Dynamics



## 8. DYNAMIC ESTIMATION OF THE CARBON FOOTPRINT FOR A DUAL PURPOSE CATTLE

**RAÚL ANDRÉS MOLINA BENAVIDES, HUGO SÁNCHEZ GUERRERO**

Universidad Nacional de Colombia (Palmira - Colombia)  
ramolinab@unal.edu.co, hsanchezgu@unal.edu.co

**ALBERTO STANISLAO ATZORI**

Universidad de Sassari (Sassari - Italia)  
asatzori@uniss.it

### ABSTRACT

This paper presents the estimation of greenhouse gases and the carbon footprint produced by a bovine dual purpose under conditions of Colombian tropics. This estimate was achieved using the integration of three existing methodologies: Large Ruminant Nutrition System (LRNS), Carbon Footprint (CF) and Dynamic System (DS). It was found that during four lactations (91 months, from birth to slaughter), cow produced 5.879 kg of milk and 16.066 kg of CO<sub>2</sub>eq (2, 73 kg CO<sub>2</sub>eq/kg milk). The decrease in a month of age at first calving and 21 days in the interval between calving and conception, reduced in 155 and 647 kg of CO<sub>2</sub>eq, respectively. Reproductive parameters such as age at first calving and the interval between calving and conception, have a strong influence on the dynamics of the animal in the herd and their emissions of greenhouse gases.

**KEYWORDS:** dynamic system, greenhouse gases, livestock, modeling, simulation.

### I. INTRODUCCION

Todos los seres humanos para su conservación y bienestar, requieren directa o indirectamente de los recursos naturales [1]. La interacción entre los animales domésticos y su ambiente, modulados por el manejo del hombre, es lo que conocemos hoy como sistemas ganaderos. De estos sistemas, se derivan productos (leche, carne, huevos, entre otros) que son esenciales para la vida humana, sin embargo, sus procesos de elaboración pueden causar efectos ambientales. Por ejemplo, la actividad ganadera contribuye a la generación de gases de efecto invernadero (GEI). La modificación en la composición de estos gases en la atmosfera ha conducido a alteraciones climáticas con relación a su comportamiento histórico, hecho conocido como Cambio Climático. La FAO estima que el sector ganadero contribuye con 7.1 Gt de CO<sub>2</sub>eq por año, las cuales representan el 14,5% del total de emisiones antrópicas. De este total, el ganado de carne es responsable del 41%, el ganado de leche del 20%, cerdos 9%, pollos y huevos 8% [2].

Sin embargo, existen prácticas de mitigación existentes y aplicables para los diferentes sistemas de producción mundial, no muy bien documentadas y respaldadas por información completa, consolidada y basada en hechos científicos, que pueden mejorar la productividad animal y su eficiencia reproductiva, conllevando a disminuciones en las emisiones de GEI [3].

Esta falencia de información, condujo a que el objetivo principal de este trabajo fuese estimar la huella de carbono en un bovino doble propósito (desde su nacimiento hasta el sacrificio) y como objetivo secundario, observar el efecto de dos practicas zootécnicas (reducción en la edad al primer parto y los días abiertos), sobre la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos (kg CO<sub>2</sub>eq) por kg de producto generado (kg leche).

## II. METODOLOGÍA

Se simuló el comportamiento de una hembra bovina doble propósito (Gyr x Holstein) desde su nacimiento hasta el sacrificio con el objetivo de conocer las cantidades de GEI (CO<sub>2</sub>eq) emitidos durante toda su vida, bajo condiciones de pastoreo en el trópico Colombiano<sup>2</sup>.

La principal fortaleza de este trabajo fue la integración de 3 metodologías existentes: Large Ruminant Nutrition System (LRNS) [4], huella de carbono [5] y dinámica de sistemas [6].

El modelo matemático nutricional LRNS, se usó para estimar el consumo de materia seca diario en cada una de las etapas fisiológicas del animal, en este caso la proveniente solo del forraje pastoreado, y la producción de leche diaria.

Las emisiones de GEI se estimaron usando las ecuaciones del IPCC<sup>3</sup> [7, 8] con las cuales se obtuvieron las cantidades de metano entérico (CH<sub>4</sub>ent), metano de las excretas (CH<sub>4</sub>exc) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Estimados los kg producidos de estos gases, se convirtieron a kg de CO<sub>2</sub>eq usando las siguientes equivalencias [9]:

1 kg de CO<sub>2</sub> = 1 kg de CO<sub>2</sub>eq;  
 1 kg de CH<sub>4</sub> = 25 kg de CO<sub>2</sub>eq;  
 1 kg de N<sub>2</sub>O = 298 kg de CO<sub>2</sub>eq.

La evolución del animal fue simulada usando el enfoque de dinámica de sistemas (DS). El modelo se construyó usando los principales componentes de esta metodología como son los niveles, flujos, retroalimentación y retrasos [6]. Los niveles son acumulaciones dentro del sistema, los flujos son los únicos que modifican los niveles, la retroalimentación representa la cadena de causalidad dentro del sistema y los retrasos determinan el tiempo de permanencia en los niveles, ocasionando inestabilidad y oscilación [10].

El modelo fue construido con la ayuda del software Vensim Plus (Ventana System, inc.), este estuvo conformado por 10 niveles, los cuales representaban las diferentes etapas fisiológicas por las cuales pasaba el animal durante su vida (Figura 1).

Posterior a su construcción, los valores estimados de materia seca ingerida, producción de leche y GEI emitidos para cada categoría, se adicionaron al modelo como variables externas.

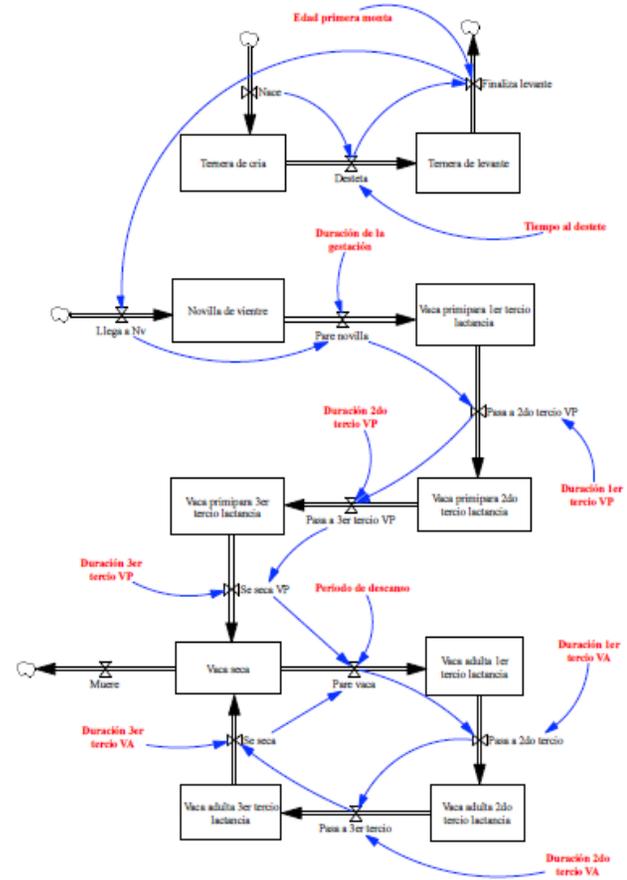


Figura 1. Modelo mediante DS representando las etapas fisiológicas por las que cursa un bovino (hembra) durante toda su vida. Las variables en rojo determinan los tiempos de permanencia en cada nivel. Nv: Novilla de vientre, VP: Vaca primípara, VA: Vaca adulta.

A continuación, en la tabla 1, se muestran las principales variables utilizadas para la estimación de los consumos de materia seca, producción de leche, GEI y construcción del modelo DS.

<sup>2</sup> El 38% del inventario ganadero del país (23 millones) es manejado bajo el modelo doble propósito [11]. Este modelo se caracteriza por tener dos objetivos: i) Producción de leche

ii) Producción de carne mediante la cría de terneros hasta el destete [12].

<sup>3</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change

Tabla 1. Variables utilizadas para la construcción de las huellas de carbono e hídrica con sus respectivos valores iniciales y fuentes de referencia.

Parámetro*	Valor
<u>Animal</u>	
Edad al destete	9 meses
Edad primera monta	27 meses
Intervalo entre partos	456 días
Duración lactancia	9 meses
Periodo de descanso	171 días
Peso vivo vaca adulta	470 kg
Peso al destete	150 kg
Peso al nacimiento	35 kg
<u>Forraje</u>	
FDN	67%
Proteína cruda	10%
Extracto etéreo	1,6%
Materia seca	25%
Energía	16,07 MJ/kg
kg forraje verde	0,7 kg/m <sup>2</sup>
<u>Clima</u>	
Temperatura media	23°C
Humedad relativa	75%

\* Los valores para cada parámetro fueron obtenidos de la literatura [13, 14, 15].

### III. RESULTADOS

El LRNS permitió estimar el consumo de materia seca (kg/día) para cada una de las etapas del animal, al igual que la producción de leche en sus diferentes lactancias. En la tabla 2, se muestra los resultados obtenidos para el consumo de material seco:

Tabla 2. Consumo de materia seca (MS) en cada una de las etapas del animal

Parámetro*	Valor
<u>Animal</u>	
Edad al destete	9 meses
Edad primera monta	27 meses
Intervalo entre partos	456 días
Duración lactancia	9 meses
Periodo de descanso	171 días
Peso vivo vaca adulta	470 kg
Peso al destete	150 kg
Peso al nacimiento	35 kg
<u>Forraje</u>	
FDN	67%
Proteína cruda	10%
Extracto etéreo	1,6%
Materia seca	25%
Energía	16,07 MJ/kg
kg forraje verde	0,7 kg/m <sup>2</sup>
<u>Clima</u>	
Temperatura media	23°C
Humedad relativa	75%

\* Prim= primípara; TL= Tercio de Lactancia

La producción de leche estimada para las vacas primíparas en el primero, segundo y tercer tercio de lactancia fue de 5,3; 5,4 y 5,1 kg diarios, respectivamente. Para las vacas adultas fue de 5,5; 5,5 y 5,2, en igual orden de tiempo.

Las cantidades de leche producida diariamente, se encuentran en el rango de los datos presentados por [13], en donde los animales doble propósito pueden producir entre 3,5, promedio nacional, y 6,8 en fincas sobresalientes.

Con los datos obtenidos mediante el LRNS, más la información composicional del alimento consumido por los animales, se estimaron las cantidades de gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) emitidas por el animal a través de sus diferentes etapas de vida. En la tabla 3,

se muestran los resultados obtenidos utilizando las ecuaciones del IPCC [7, 8].

Tabla 3. Emisiones mensuales de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en cada una de las etapas del animal.

Etapas	Consumo MS (kg/día)
Tenera de Cría	2,2 - 3,6
Tenera de levante	4,1 - 8,7
Novilla de vientre	9,1 - 10,2
Vaca prim. 1er TL*	10,5
Vaca prim. 2do TL	10,6
Vaca prim. 3er TL	10,8
Vaca adulta 1er TL	10,9
Vaca adulta 2do TL	10,9
Vaca adulta 3er TL	10,9
Vaca seca	11

Etapas <sup>a</sup>	CH <sub>4</sub> ent. (kg)	CH <sub>4</sub> exc. (kg)	N <sub>2</sub> O (kg)
Tc	1,66	0,04	0,04
Tl	2,92 - 4,77	0,07 - 1,2	0,07 - 1,1
Nv	5,54	0,14	0,12
Vp1tl	6,15	0,2	0,14
Vp2tl	6,15	0,2	0,14
Vp3tl	6,15	0,2	0,14
Va1tl	6,72	0,17	0,15
Va2tl	6,72	0,17	0,15
Va3tl	6,72	0,17	0,15
Vs	6,67	0,17	0,15

\* Tc: ternera de cría, Tl: ternera de levante, Nv: novilla de vientre, Vp1,2,3tl: vaca primipara de 1, 2 y 3 tercio de lactancia, Va1,2,3tl: vaca adulta de 1, 2 y 3 tercio de lactancia, Vs: vaca seca, CH<sub>4</sub> ent: metano entérico, CH<sub>4</sub> exc: metano de las excretas, N<sub>2</sub>O: óxido nítrico.

### Línea Base

De acuerdo a los parámetros zootécnicos introducidos en el modelo DS, el animal presentó cuatro lactancias en el transcurso de 91 meses<sup>4</sup> (Figura 2). La primera

con una producción de 1.442 kg de leche, las tres siguientes con producciones de 1.479 kg. Estas cantidades de leche estimadas, concuerdan con los datos reportados por [13], en donde animales doble propósito pueden producir entre 1.200 y 1.600 kg de leche por lactancia. En total, la producción de leche durante su vida útil fue de 5.879 kg.

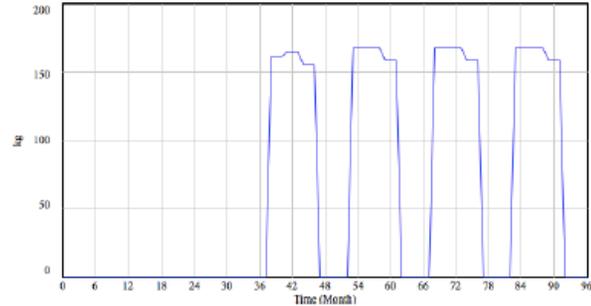


Figura 2. Número de lactancias y cantidad de leche (kg) producida durante 92 meses de vida para un animal doble propósito.

Por otro lado, las emisiones de GEI durante toda su vida fueron de 16.066 kg CO<sub>2</sub>eq. Al dividir esta cantidad entre la leche total producida, se encontró que el animal emitía 2,73 kg CO<sub>2</sub>eq para producir un kg de leche.

El valor de la huella de carbono obtenida en este trabajo, fue cercana a los 2,8 kg CO<sub>2</sub>eq / kg leche estimado por [2] como promedio global. Otros autores, siguiendo la metodología de las ecuaciones propuestas por el IPCC, [5], [16], [17], encontraron huellas de carbono entre 0,37 - 0,69; 1,6 - 1,8 y 1,3 kg CO<sub>2</sub>eq / kg leche, respectivamente. Las diferencias con estos autores, podría deberse a la mayor producción diaria de leche por animal.

Reducción en la edad al primer parto (EPP) Se redujo gradualmente el valor de la EPP hasta un valor biológicamente posible para condiciones tropicales, desde el valor base de 36 meses, reportado como valor promedio nacional, hasta 30 meses. En la tabla 4, se puede observar, como la reducción de un mes en la EPP, disminuyó en promedio mensualmente, 155 kg de CO<sub>2</sub>eq. Para la huella de carbono, la reducción promedio fue de 0,03 kg CO<sub>2</sub>eq/kg leche.

<sup>4</sup> Después de terminada la cuarta lactancia, el animal permaneció un mes más en el hato con el propósito de mejorar su condición corporal y venderlo a mejor precio.

Tabla 4. Efecto de la edad al primer parto (EPP) sobre las emisiones de GEI y la huella de carbono.

EPP* (meses)	GEI (kg CO <sub>2</sub> eq)	HC (kg CO <sub>2</sub> eq/kg leche)
36	16.066	2,73
35	15.911	2,71
34	15.755	2,68
33	15.600	2,65
32	15.445	2,63
31	15.290	2,6
30	15.135	2,57

\*EPP: edad al primer parto, GEI: gases de efecto invernadero, HC: huella de carbono

Adicionalmente, en la figura 3, se puede observar como la reducción en la EPP, permitió disminuir la permanencia del animal en el hato, es decir, el bovino terminaba su cuarta lactancia con menor edad, pasando de 91 meses en la línea base a 85 meses para una EPP de 30.

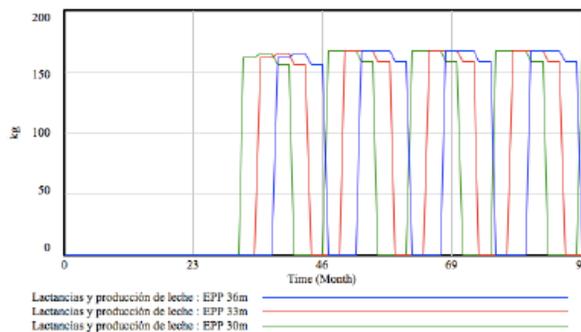


Figura 3. Efecto de la disminución en la edad al primer parto (EPP) sobre la permanencia del animal en el hato, cumplidas sus cuatro lactancias.

**Reducción en los días abiertos (DA)**

Para este escenario, se redujo paulatinamente en 21 días (ciclo estral del bovino) el tiempo entre el parto y la concepción. En la tabla 5, se puede observar como la reducción de un estro, disminuyó en promedio mensualmente, 647 kg de CO<sub>2</sub>eq. Para la huella de carbono, la reducción fue de 0,11 kg CO<sub>2</sub>eq/kg leche.

Tabla 5. Efecto de los días abiertos (DA) sobre las emisiones de GEI y la huella de carbono.

DA* (días)	GEI (kg CO <sub>2</sub> eq)	HC (kg CO <sub>2</sub> eq/kg leche)
171	16.066	2,73
150	15.419	2,62
129	14.771	2,51
87	14.124	2,4
66	13.477	2,29

\* DA: días abiertos, GEI: gases de efecto invernadero, HC: huella de carbono.

En la figura 4, se observa como la reducción en el intervalo entre el parto y la concepción, permitió disminuir la permanencia del animal en el hato, es decir, el bovino terminaba su cuarta lactancia con menor edad, pasando de 91 meses en la línea base a 79 meses para 66 días abiertos.

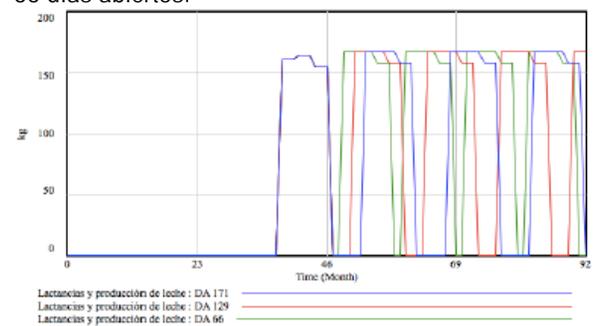


Figura 4. Efecto de la disminución en los días abiertos (DA) sobre la permanencia del animal en el hato, cumplidas sus cuatro lactancias.

La reducción en las cantidades de gases emitidos encontrados en este trabajo, a través de la de reducción en los días abiertos y la edad al primer parto, ratifica las prácticas de mitigación recomendadas por Hristov et al. [3], a través de la crianza del ganado, en las cuales, la reducción en la edad para el sacrificio y la disminución de los días de alimentación, mediante mejoras en alimentación y genética, pueden tener un impacto significativo sobre las emisiones de GEI.

**IV. CONCLUSIONES**

Bajo el análisis puntual en este trabajo propuesto, se encontró que las modificaciones realizadas en aspectos reproductivos (edad al primer parto e intervalo entre el parto y la concepción), tienen una fuerte influencia sobre la dinámica del animal en el hato, producción de leche

durante su vida y emisión de gases de efecto invernadero.

## REFERENCIAS

- [1] (NAP) The National Academies Press. 2011. Sustainability and the U.S. EPA. Washington, D.C. p. 150.
- [2] Gerber, P.; Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- [3] Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO<sub>2</sub>. Editado por Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. Producción y Sanidad Animal FAO Documento No. 177. FAO, Roma, Italia.
- [4] <http://nutritionmodels.com/lrns.html>
- [5] Rotz, C., Montes, F., Chianese D. 2010. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *Journal of Dairy Science* 93; 1266-1282.
- [6] Sterman, J.D. 2000. *Business Dynamics, Systems Thinking and Modeling for a Complex World*; McGraw-Hill: Boston, MA, USA.
- [7] IPCC. 2006a. Chapter 10. Emissions from Livestock and Manure Management. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 10.1– 10.87.
- [8] IPCC. 2006b. Chapter 11: N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 11.1–11.54.
- [9] IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 2: Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Available at: [www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf) (accessed Jul 2014).
- [10] Guimaraes, V.; Tedeschi, L. and Teixeira, M. 2009. Development of a mathematical model to study the impacts of production and management policies on the herd dynamics and profitability of dairy goats. *Agricultural system* 101 (2009) 186-196.
- [11] Fedegan. 2013. Análisis del inventario ganadero Colombiano: Comportamiento y variables explicativas. Bogotá, Colombia.
- [12] Vilaboa J., Díaz P., Ruiz O., Platas D., González S., Juárez F. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10 (2009): 53 – 62.
- [13] Fedegan. 2012. Foro de empresarización y competitividad ganadera: Costos y los indicadores de productividad en la ganadería colombiana. En: <http://www.slideshare.net/Fedegan/costos-e-indicadores-de-laproductividad-en-la-ganaderia-colombiana?related=1> (consultado en Junio de 2015).
- [14] Peters, M.; Franco. L. H., Schmidt, A. e Hincapié, B. 2011. Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores del trópico americano. *Publicación CIAT* 374. p. 212.
- [15] <http://ideam.gov.co>
- [16] Gerber, P.; Vellinga, T., Opio, C., Steinfeld, H. 2011. Productivity gains and green house gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science* 139; 100-108.
- [17] Lesschen, J.P., van den Berg, M., Westhoek, H.J., Witzke, H.P., Oenema, O. 2011. Greenhouse gas emission profiles of European livestock sectors. *Animal Feed Science and Technology* 166-167; 16-28.



**Raúl A. Molina** recibió el grado de Zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia – sede Palmira, en el año 2007. En el 2011 obtuvo el título de magister en Ciencias Agrarias.

Actualmente es candidato a doctor en Ciencias Agropecuarias con énfasis en Producción Animal Tropical de la Universidad Nacional de Colombia.



**Hugo Sánchez** Zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, con maestría en Producción Animal (convenio UN-ICA), tiene una especialización en producción de Ganado lechero en la misma sede y otra

en administración laboral Agrícola de la Universidad de California. Es profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.



**Alberto S. Atzori** PhD en Animal Science de la Universidad de Sassari, Italia. Tiene experiencia en las áreas de la ciencia animal y ambiental. Trabaja actualmente como profesor e

investigador en la Universidad de Sassari. Hace parte del System Dynamics Italian Chapter.



## 10. DYNAMIC SIMULATION OF THE IMPACT OF A POLICY OF VOLUME FLEXIBILITY IN A PAPAYA'S SUPPLY CHAIN

**ANDRES PAREDES RODRIGUEZ, ANDRES FELIPE SALAZAR RAMOS**

Universidad del Valle - Colombia

andres.paredes@correounivalle.edu.co, andres.f.salazar@correounivalle.edu.co

### ABSTRACT

This paper presents the analysis of the impact of a policy of volume flexibility in a supply chain that distributes papaya, seen as an increase in production capacity. The problem in this supply chain management was simulated using system dynamics because this tool allows to clearly visualize the flow of information requests from the retailer to the manufacturer, together with their respective delays; thus allowing to establish the structure of the system, with the aim of controlling undesirable behaviors in the supply chain such as shortages retailer or loss of reliability of the producer. The main results of the study is obtained that the policy of volume flexibility causes the level of service is higher, but also implies higher logistics costs.

**KEYWORDS:** volume flexibility, perishables, system dynamics, capacity augmentation

### I. INTRODUCCION

De acuerdo a [1], [2] la cadena de suministro se puede definir como el camino que debe seguir cualquier producto, desde el abastecimiento de la materia prima hasta la adquisición por parte del cliente final. En la actualidad, debido a que la empresa no se considera un ente cerrado sino un sistema abierto, las empresas se han visto en la necesidad de integrar toda la cadena de valor del producto; este aspecto sumado a los cortos ciclos de vida de los productos, la competencia más intensa y el aumento de las expectativas del cliente, ha provocado una mayor complejidad en la gestión de cadenas de suministro [3]. Por este motivo, es necesario establecer estructuras que conduzcan a una generalización de flexibilidad, es decir, acercarse a marcos que mejoren la capacidad de una empresa para adaptarse o responder a los cambios [4]

En el siglo pasado, la flexibilidad estaba enfocada solo hacia operaciones de manufactura; sin embargo, debido al aumento de la globalización, la tendencia a la subcontratación y la elevada complejidad del ambiente, hoy en día la investigación relativa a la flexibilidad se ha ampliado a las cadenas de suministro [3]. Sin embargo, gran parte de la investigación existente tiene una

definición limitada de flexibilidad de la cadena de suministro y describen la flexibilidad simplemente como un medio para hacer frente a la incertidumbre [5]. Por este motivo algunos autores como [6], [7] exponen que existe una urgente necesidad para llevar a cabo nuevas investigaciones empíricas en flexibilidad de cadena de suministro. A continuación se presentará algunos trabajos que han abordado la problemática de flexibilidad en cadena de suministro de productos perecederos, tal como lo es la papaya.

[8] analizan una cadena de suministro de productos perecederos conformada por una red de detallistas de verduras y una red de empresas que generan este tipo de producto, y logran identificar la importancia de los flujos de información para alcanzar una cadena de suministro altamente flexible. Minegishi y Thiel (2000) buscan mediante la dinámica de sistemas analizar el control y la gestión de una cadena de suministro de alimentos, buscando contribuir al entendimiento del complejo comportamiento logístico de una cadena de suministro de aves de corral [10] establecen modelos matemáticos para medir la flexibilidad en el contrato entre un minorista y un fabricante de productos perecederos; con el objetivo de coordinar los flujos de información entre los distintos agentes que intervienen

en el sistema. [11] investigan una cadena de suministro de frutas y verduras perecederas, proponiendo un modelo de simulación realizado con el enfoque de dinámica de sistemas, con el objetivo de estudiar los comportamientos y las relaciones dentro de la cadena de suministro y determinar el impacto de las interacciones de oferta, demanda y precios

En este documento se analiza la decisión particular de incrementar la capacidad de producción en un eslabón de una cadena de suministro que distribuye un producto perecedero como lo es la papaya. Dicho tipo de producto genera una complejidad mayor para la administración de la cadena, ya que como lo expresan [12] “deben moverse rápidamente en el mercado para evitar su deterioro, impidiendo que los vendedores puedan almacenar estos productos a espera de condiciones favorables del mercado”.

En la figura 1 se describe el comportamiento una cadena de suministro de productos perecederos: la línea roja simboliza el deterioro de los productos en el transporte desde el proveedor hasta el detallista, este desperdicio depende directamente del tiempo de entrega del producto entre los dos eslabones y las condiciones del vehículo en que se transporta dicho producto. Las líneas verdes relacionan el deterioro que se genera en el almacenamiento del inventario, tanto del proveedor como del detallista. A partir de lo expuesto anteriormente, se puede decir que la cantidad a pedir  $Q$  del detallista debe cubrir el factor de deterioro generado en toda la cadena, para asegurarse de poder cumplir con la demanda del cliente final, ya que este busca obtener productos en buenas condiciones. La gestión de cadenas de suministro de productos perecederos es más compleja y costosa debido a tres motivos principales:

- 1) El detallista debe pedir de una manera frecuente debido a que no puede mantener el producto por mucho tiempo en su inventario
- 2) El costo de almacenamiento del proveedor y del detallista se incrementa debido a que se deben asegurar ciertas condiciones para poder alargar un poco la vida del producto
- 3) Si el detallista no realiza una buena planificación de la demanda, teniendo en cuenta el desperdicio que se genera en toda la cadena, puede presentar escenarios de venta pérdida y backorder, lo que afecta el nivel de servicio y los costos de penalización asociados al incumplimiento.

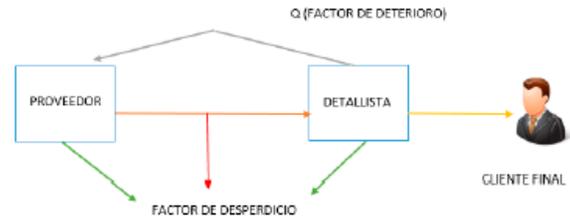


Figura 1. Comportamiento general de una cadena de suministro de productos perecederos

El documento se desarrolla de la siguiente manera: en la sección II se describe la metodología con la que se abordó el problema objeto de estudio, en la sección III se realiza una explicación del modelo utilizado para simular el sistema; en la sección IV se presentarán los resultados más relevantes y se terminará en la sección V exponiendo las conclusiones más representativas

## II. METODOLOGÍA

El presente estudio abordará el análisis de flexibilidad de volumen de una cadena de suministro de la papaya a través de dinámica de sistemas, debido a que esta herramienta permite visualizar claramente el flujo de información de los pedidos del detallista al fabricante, junto con sus respectivas demoras; permitiendo de esta forma establecer la estructura del sistema, con el objetivo de controlar comportamientos indeseables en la cadena de suministro como el desabastecimiento del detallista o la pérdida de confiabilidad del productor.

El estudio realizado se plantea como una continuación de una investigación emprendida por los autores en [13]. El diagrama causal es construido a partir de referenciación y proposición y se muestra en la Figura 2.

En el diagrama causal se observa la interacción entre un productor, un detallista y el cliente final de la cadena de suministro de la papaya. El productor comienza con una capacidad inicial, la cual afecta directamente su cosecha y a su vez la cantidad de papaya que este posee en inventario. Luego de que la papaya termina su ciclo de maduración en el inventario del productor esta es enviada al detallista, aunque se debe aclarar que un porcentaje de la papaya que se ha cosechado se degrada en el inventario del productor y por ende no puede ser enviada al minorista. Además es necesario definir que la cantidad de papaya que despacha el productor no es la misma que llega al inventario del detallista debido a que existe un factor de desperdicio asociado al transporte de este tipo de productos.



detallista mejora su nivel de atención al cliente, volverá a experimentar la demanda esperada.

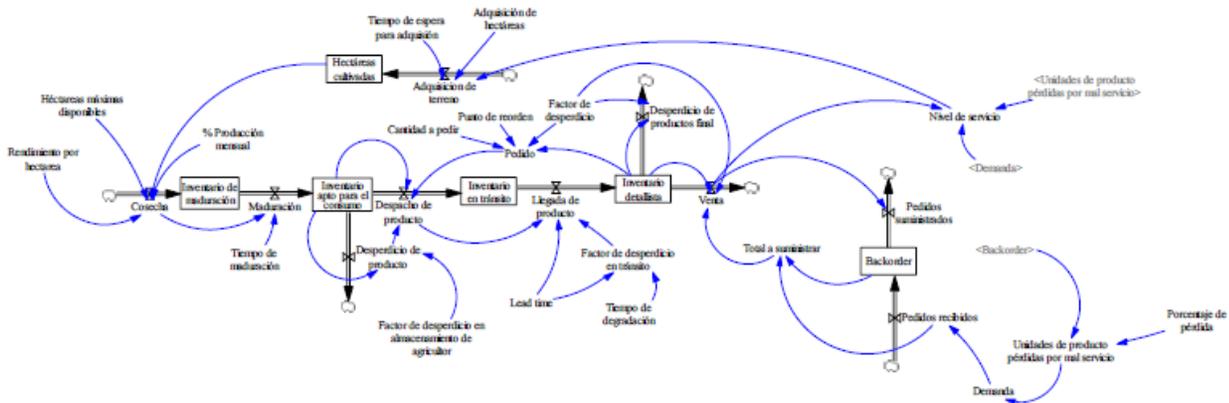


Figura 3. Diagrama de forrester de la implementación de la política de flexibilidad de volumen en la cadena de suministro de la papaya

### DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio a ser utilizado para la simulación, se encuentra basado principalmente en una investigación de la cadena productiva de la papaya desarrollada en la región Norte del Valle del Cauca por la Universidad Nacional [14]

La primera variable que es definida es la producción de la papaya a través de todo el año. Con este fin lo primero que se hizo fue suponer que el proveedor de papaya que involucrará el estudio se encuentra ubicado en el municipio de Roldanillo, debido a que, según un estudio realizado por el ministerio de Agricultura, este es el lugar del Valle del Cauca donde más papaya se cultiva (Ver gráfico 1); luego de esto se procede a realizar un pronóstico del número de hectáreas sembradas para el año 2015 con base en los datos históricos del número de hectáreas cultivadas entre el año 2006 y 2010 que fueron tomados del estudio realizado por [14]. Para la realización del pronóstico futuro de las hectáreas sembradas desde el año 2011 hasta el año 2015 se utilizó el sistema de pronóstico de suavización exponencial doble, debido a que el comportamiento arrojó que para el año 2015, se cultivarán aproximadamente 219 hectáreas, por lo tanto este valor representará el número de hectáreas iniciales con las que contará el productor al inicio de la simulación.

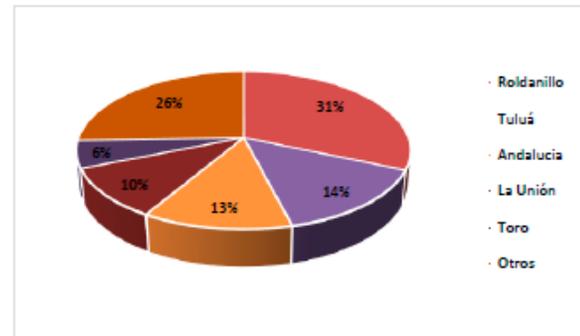


Gráfico 1 Participación municipal en la producción de papaya del Valle del Cauca

Ahora otro aspecto a definir para poder conocer la producción de papaya a lo largo del 2015, es el rendimiento por hectárea. Normalmente este indicador está representado como el número de toneladas o kilogramos que se obtienen por una hectárea, sin embargo, para el estudio se necesita conocer el número de papayas que se pueden obtener de la plantación cosechada en una hectárea. A partir de la información obtenida de un anuario de frutas y hortalizas desarrollado por el ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural entre el año 2007 y 2011; se procede a generar un promedio de estos datos para definir el rendimiento por hectárea anual para el Valle del Cauca, con lo que se puede concluir entonces que una hectárea provee aproximadamente 57139 kilogramos.

Para obtener la equivalencia de este rendimiento en número de papayas se debe tener en cuenta que una papaya pesa aproximadamente 1,1 Kilos (1100g/1000g = 1,1). Con esta información se procede a aplicar el siguiente procedimiento:

$$\text{Rendimiento (\# papayas)} = \frac{57.139 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Ha}}\right)}{1,1 \text{ Kg}}$$

$$\text{Rendimiento (\# papayas)} = 51945$$

Se puede concluir entonces que una hectárea sembrada con papaya, luego de cumplir su etapa de madurez fisiológica, puede ofrecer durante el año 51945 papayas. Debido a que el cultivo de la papaya no es constante durante el año, el ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural realizó un anuario de frutas y verduras y logró establecer los porcentajes de cosecha del cultivo de la papaya durante el año. Con esta información, el número de hectáreas que dispone el productor y el rendimiento por cada hectárea; es posible calcular la cosecha en cada uno de los meses del año 2015. Se debe aclarar que a medida que el productor vaya adquiriendo hectáreas, la producción en ciertos intervalos de tiempo va a aumentar. No obstante, se partirá del supuesto de que el productor tendrá una limitación del terreno para cultivar equivalente a 1200 hectáreas.

Debido a que el detallista emite órdenes teniendo en cuenta la demanda del cliente final, la cantidad de pedidos pendientes y el factor de desperdicio se pasará a definir cada uno de estos elementos.

Uno de los parámetros que juega un papel muy importante dentro del estudio, son los distintos factores de desperdicio que se generan a lo largo de la cadena de suministro de la papaya debido a que este aspecto genera complejidad dentro del sistema. Para definir estos valores se partirá del estudio de pérdidas y desperdicios en el mundo realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [15].

Para el factor de deterioro en el almacén del productor se tomará un valor del 8%; el factor de desperdicio en el almacenamiento del detallista será equivalente a un 5% y por último el factor de desperdicio en el transporte en condiciones normales de funcionamiento toma un valor del 6%. Otro aspecto a tener en cuenta es el tiempo de suministro (lead time) entre el productor y el detallista. Debido a que el modo de transporte más común de productos agrícolas es el transporte terrestre [16], el lead time entre estos dos eslabones de la cadena variará entre 1 y 3 días. La papaya, una vez apta para el consumo, tiene una vida útil de 2 días. Si por algún motivo el tiempo de suministro es mayor a este valor, se deben asumir pérdidas en el transporte muchos

mayores a las planteadas anteriormente debido a la mala administración durante el transporte de alimentos perecederos que puede resultar en la descomposición de calidad, y la pérdida de productos hasta de un 35% [17]. Por este motivo, para este estudio se considerará que luego de cumplir su vida útil, el porcentaje de desperdicio aumentará a un 35%.

Con relación a la demanda del cliente final, se tomaron valores de consumo nacional de papaya presentados en el estudio realizado por la Universidad Nacional [14] y se procedió a obtener el porcentaje de esa demanda perteneciente al departamento del Valle del Cauca. Para obtener este indicador, se partió del supuesto de que a medida de que haya más población en un departamento, el consumo de papaya va a aumentar; por ende, se buscó las proyecciones de población de Colombia para el año 2015, realizadas por el Departamento Administrativa Nacional de Estadística (DANE), y se logró concluir que aproximadamente el 9,6% de la población se concentra en el departamento del Valle del Cauca; por lo tanto, el estudio tendrá el supuesto de que el 9,6% del consumo nacional de papaya pertenece a esta zona del país.

Una vez se obtiene el consumo por departamento, se pasa a convertir esta demanda, que inicialmente está dada en toneladas, a número de papayas; esto se hace teniendo en cuenta que una tonelada equivale a 1000 Kilogramos y que una papaya, como ya se había mencionado anteriormente, tiene un peso promedio de 1,1 kilos. Luego de hallar el consumo en unidades de papaya, se procedió a dividir los valores por 360, debido a que el estudio no va a considerar demandas anuales sino consumos día a día, todo con el objetivo de analizar la vida útil diaria. Luego de esto, se pasó a calcular un promedio de la demanda diaria y la desviación estándar de los datos, todo con el objetivo de establecer una demanda mínima y máxima. Luego de la aplicación de este procedimiento se obtuvo que la demanda promedio diaria es de 39047 papayas, la demanda mínima es de 33398 papayas y la demanda máxima es de 44.696 papayas.

La cantidad a pedir por parte del detallista será una cantidad fija y en este caso se supondrá que se pedirá para suplir la demanda promedio durante tres días, el cual es el máximo lead time que se puede presentar en la simulación del modelo. Se debe tener en cuenta que el detallista pedirá también para suplir el factor de desperdicio que se genera en su almacén. Para hallar el punto de reorden, el cual es el mínimo nivel de

inventario que está permitido para satisfacer la demanda del cliente, también se utilizará la demanda promedio de 3 días. En conclusión, el detallista emitirá un pedido aproximado de 120000 papayas, cada vez que el inventario efectivo se encuentre por debajo de 120000 unidades.

Todas las unidades de papaya que no pueda suplir el detallista, quedarán pendientes a ser entregadas al cliente (backorder); sin embargo, este suceso creará una mala imagen del producto y provocará que se pierdan algunos clientes, por lo que la demanda disminuirá en un cierto porcentaje de las unidades que se tengan en backorder. Además el nivel de servicio se verá afectado por la pérdida de imagen del productor, por lo que este se disminuirá en una fracción igual a la relación entre las unidades perdidas en un día y la demanda mensual promedio.

Para calcular el factor de pérdida de imagen frente a los clientes lo que se hizo fue una simulación previa del modelo en Vensim Dss, considerando solo backorder. Después se procedió a analizar el tiempo que tardaban en ser atendidas, aproximadamente, las unidades pendientes a entregar a los clientes. Con la información obtenida, se calculó la probabilidad de que el tiempo de espera fuera mayor a 3 días, suponiendo que si se sobrepasa este límite se ocasionará la pérdida de un cliente en ese determinado periodo, aunque se debe aclarar que si la imagen del cliente mejora, los clientes volverán en periodos posteriores. Por lo tanto se pudo concluir que el factor de pérdida a ser utilizado en el modelo es de 7,11%.

La política de inversión en capacidad, la cual es la que marca la flexibilidad de volumen en el sistema, estará definida por la adquisición de hectáreas de siembra cada vez que el nivel de servicio esté por debajo o sea igual al 50%, ya que se considera que si este indicador alcanza este rango, el funcionamiento de la cadena se encuentra en un nivel crítico. Además se considerará que existe un tiempo de espera entre la adquisición de la hectárea y el momento en que esta se encuentra disponible para ser cultivada. En el estudio se considerará que este intervalo de tiempo es equivalente a un mes.

Para hallar cuál es la cantidad de hectáreas óptimas que se deben adquirir para obtener el mejor nivel de servicio al cliente, se procede a realizar una optimización de la variable de adquisición de hectáreas con base en la simulación realizada previamente. La única limitación

que se agregó al modelo fue que el productor no podía adquirir más de 10 hectáreas por día. Los resultados de la optimización se muestran en la figura 4. Se puede observar que el resultado con el que se maximiza el nivel de servicio es adquirir 9,38 hectáreas.

Por último, además del nivel de servicio, otro indicador importante para el estudio son los costos asociados a la gestión de cadenas de suministro tales como costos de pedido, almacenamiento y faltantes, tanto del productor como el detallista. En este documento, existe un mayor interés en el comportamiento de los costos a través del tiempo que en el mismo valor de estos.

```
Initial point of search
  Adquisición de hectáreas = 9
Simulations = 1
Pass = 0
Payoff = 283.354
-----
Maximum payoff found at:
*Adquisición de hectáreas = 9.38415
Simulations = 23
Pass = 3
Payoff = 284.558
```

**Figura 4. Resultados de optimización de la variable adquisición de hectáreas por medio de Vensim Dss**

#### IV. RESULTADOS

El modelo previamente descrito fue simulado para un periodo de un año compuesto por 360 días teniendo en cuenta un caso de estudio elaborado por los autores donde se recopila información de la cadena de suministro de la papaya en la región norte del Valle del Cauca, específicamente del municipio de Roldanillo. Los resultados más relevantes del escenario base se presentan a continuación:

En el gráfico 1 se puede notar como al inicio de la simulación hay un nivel elevado de backorder (representado con la línea azul) y los inventarios tanto del agricultor como el del detallista son cercanos a cero. A medida que el agricultor adquiere capacidad de producción, comienza a cumplir con los pedidos que necesita el detallista para reducir las órdenes atrasadas y generar un nivel de servicio cercano al 100%. Luego de que el sistema adquiere una estabilidad en el día 60

(a partir de la línea amarilla), los pedidos pendientes de entregar al cliente se hacen pequeños comparados con los inventarios que tienen tanto el productor como detallista. Se debe aclarar que estos niveles de inventario se alcanzan gracias a la política de aumento de capacidad de producción implementada.

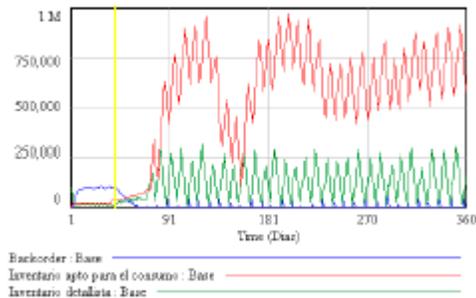


Gráfico 1. Comportamiento del inventario del productor y del detallista frente al Backorder

El gráfico 2 exhibe la forma en que el nivel de servicio del detallista al inicio de la simulación no es mayor al 50%, por lo que el productor constantemente está adquiriendo capacidad para mejorar el nivel de servicio de la cadena, pero esta decisión solo se viene a ver reflejada a partir del día 60 (representado en el gráfico por una línea amarilla), en donde el sistema adquiere un periodo de estabilidad y el detallista comienza a cumplir con las unidades que el cliente ha demandado y con los pedidos pendientes, si es que se tienen; lo que se ve representado en un nivel de servicio cercano al 100%. El nivel de servicio promedio obtenido durante la simulación es de 79%, un indicador que aunque no es cercano al objetivo de un nivel de servicio del 100% que buscan todas las cadenas de suministro, se convierte en un indicador aceptable para este tipo de sistemas complejos.

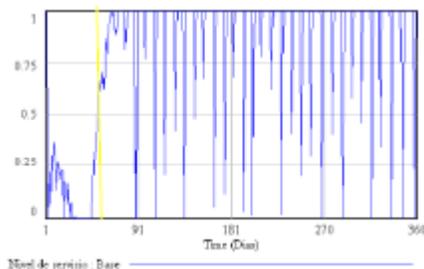
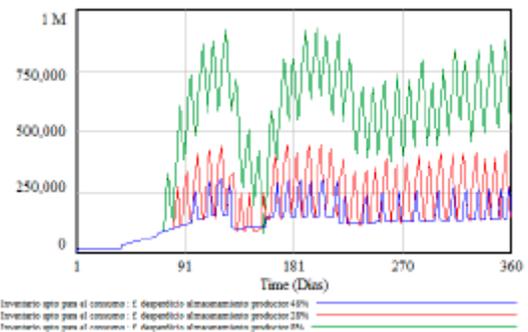


Gráfico 2. Comportamiento del nivel de servicio medido en fracción

### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se llevaron a cabo tres análisis: primero se realizó un estudio de la variación independiente del factor de desperdicio que se genera en el inventario del productor y del detallista, luego se varió el tiempo de reposición de las órdenes (lead time) para ver su efecto en el comportamiento del sistema. Por último se ejecutó un análisis conjunto de todos los factores de desperdicio que involucra la cadena de suministro, para ver su impacto en los costos de almacenamiento de inventario y la penalización generada por incumplimiento de la demanda.

En el gráfico 3 se muestra el inventario apto para el consumo que tiene el agricultor, producto de la variación consecutiva en un 5% del factor de desperdicio inicial en el almacenamiento del productor (8%). Se puede evidenciar que el nivel de inventario es más alto cuando se tiene un menor factor de desperdicio, debido a que la degradación dentro del almacenamiento es menor. Además, como se puede observar en la tabla 1, a medida de que el desperdicio en inventario del productor es mayor, la entrega de papayas al detallista se reduce, por lo que los pedidos pendientes en promedio se incrementan y son más variables (hecho reflejado en que entre mayor es el factor de deterioro, la desviación estándar de la variable backorder tiende a crecer)



Factor de desperdicio almacenamiento productor	Max	Promedio	Desviación estándar
8%	62.873,81	3.335,38	9.935,77
28%	80.134,51	9.027,94	18.794,44
48%	202.663,94	21.933,51	50.569,80

Tabla 1. Estadísticas de la variable backorder producto de una variación del factor de desperdicio del productor

En el gráfico 4 se muestra las hectáreas cultivadas a través del tiempo, resultado de una variación del 20% en el factor de desperdicio inicial (5%) en el

almacenamiento del detallista. Se puede notar como a partir del día 80 (representado por la línea amarilla), las decisiones de incremento de capacidad se comienzan a hacer notorias: a medida que el factor de desperdicio toma niveles más altos, se pierde una mayor cantidad de papaya en el almacén del detallista, lo que provoca que este realice pedidos constantes y grandes de papaya, debido que no alcanza a suplir la demanda de su cliente con lo poco que le queda en inventario. Al agricultor percibir esa alza en los pedidos del detallista y el bajo nivel de servicio que le está ofreciendo a su cliente, se ve obligado a adquirir hectáreas para poder suministrar un mayor número de papayas a la cadena. En pocas palabras, entre mayor sea el factor de desperdicio asociado al almacenamiento del detallista, mayor serán las hectáreas cultivadas por el agricultor.

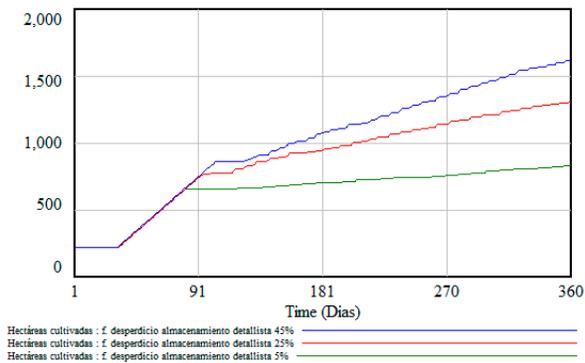


Gráfico 4. Hectáreas cultivadas frente a una variación del factor de desperdicio en el almacén del detallista

Al ser mayor el factor de desperdicio en el almacenamiento del detallista, la planificación de la demanda de este se ve afectada, lo que provoca que se pierdan clientes en una mayor proporción (Ver tabla 2), debido al constante incumplimiento de los pedidos por parte del minorista.

Factor de desperdicio almacenamiento detallista	Max	Promedio	Desviación estándar
5%	4.470,33	237,15	706,43
25%	6.088,32	1.236,07	1.802,21
55%	18.295,01	3.967,86	4.606,31

Tabla 2. Estadísticas de la variable de demanda pérdida producto de una variación del factor de desperdicio del detallista

Otro análisis que se ejecutó fue la variación del rango del lead time del sistema, que actualmente estaba entre 1 y 3 días; y el cual se fue aumentando en dos días. En el gráfico 5 se puede resaltar como a medida de que el

rango del lead time es mayor (entre 1 y 5 días) la papaya tiene una mayor probabilidad de permanecer más tiempo en tránsito, lo que genera un mayor desperdicio en el transporte y por ende disminuye la llegada de producto al inventario del detallista. Por este motivo, el minorista se ve en la necesidad de emitir órdenes al productor con una mayor frecuencia; es decir, a medida de que el lead time es mayor, el desperdicio aumenta y con éste la frecuencia con la que el detallista realiza pedidos (Ver gráfico 6)

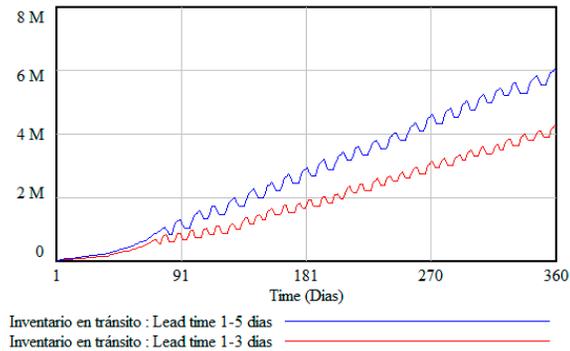


Gráfico 5. Comparación del inventario en tránsito frente a una variación del lead time

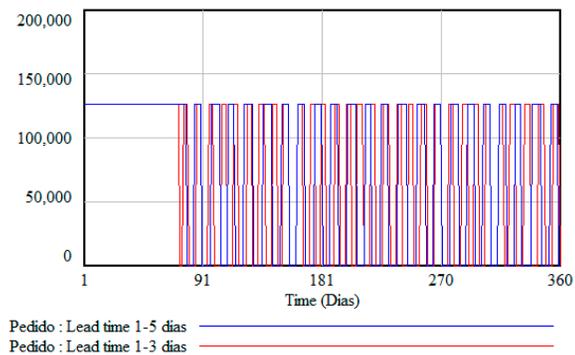


Gráfico 6. Comparación de la variable pedido frente a una variación del lead time

También se realizó una variación simultánea del 10% y 20% a cada factor de degradación de la cadena de suministro de la papaya actual. La tabla 3 exhibe como al ser mayor el factor de desperdicio en la cadena de suministro, se pierde una mayor cantidad de producto en la cadena, lo que ocasiona que el detallista incumpla sus pedidos en una mayor proporción y esto afecta al costo de penalización asociado a los faltantes. Además la variabilidad de las penalizaciones es mayor a medida que el deterioro en la cadena se hace más grande (hecho representado por una mayor desviación estándar)

Factor de desperdicio CS	Max	Promedio	Desviación estándar
10%	526.735	68.575	124.696
20%	1.177.274	179.567	322.667

Tabla 3. Estadísticas de la variable de demanda pérdida producto de una variación del factor de desperdicio del detallista

Al comienzo de la simulación, el detallista lanza un pedido al productor (más grande entre mayor sea el factor de desperdicio) lo que ocasiona que el inventario de este último se consuma rápidamente y los productos que comienza a despachar son en menor proporción que el lote emitido por el detallista, debido a la falta de capacidad que en ese momento tiene el productor. Debido a este acontecimiento, el productor comienza a notar que su producción no está acumulando el suficiente inventario para responder a los requerimientos del detallista, con lo que los pedidos pendientes de este último comienzan a crecer, y por ende el productor se ve en la necesidad de aumentar su capacidad, pero esta solo se ve evidenciada en el abastecimiento del día 60 debido a la demora inherente que tiene el proceso de incremento de capacidad. Al aumentar la producción, el productor va a poder responder en mayor proporción a las necesidades que exige el detallista. Sin embargo, como el detallista comienza a pedir frecuentemente, debido a que las unidades a suministrar son cada vez mayores, no deja que el productor consolide un lote completo de envío de unidades hasta que su capacidad se haya incrementado lo suficiente; como el detallista comienza a recibir lo que realmente necesita en los últimos días, logra suplir con las exigencias del cliente y de esta forma tener un nivel de servicio cercano al 100%.

El último análisis que se realizó fue una comparación entre dos cadenas de suministro de papaya: la primera, en la cual se aplica una política de flexibilidad de volumen, vista desde el punto de vista de un aumento de capacidad de producción del proveedor; y la segunda, un sistema en el cual no existe tal política de flexibilidad. Esta comparación se hace con el objetivo de establecer el impacto que tiene una política de flexibilidad de volumen sobre algunos indicadores de gestión de cadena de suministro como lo son el nivel de servicio y los costos logísticos. Los resultados más relevantes se presentan a continuación.

El impacto de la política de flexibilidad de volumen sobre el nivel de servicio se puede ver claramente en la tabla 4, en donde se nota que el nivel de servicio promedio de

una cadena de suministro de productos perecederos que no utiliza una política de flexibilidad de volumen, es mucho menor comparado con el que caso en la que si se utiliza esta estrategia (18% vs 79%).

	Nivel de servicio
CS sin política de flexibilidad de volumen	18%
CS con política de flexibilidad de volumen	79%

Tabla 4. Nivel de servicio promedio para una cadena de suministro con y sin política de flexibilidad de volumen

En una cadena de suministro donde se aplica una política de flexibilidad de volumen, la cantidad de papaya que le llega al detallista es mayor, lo que hace que el nivel de inventario suba, y a la vez el costo de mantenimiento de este (Ver gráfico 7); sin embargo el proveedor incurre en una menor penalización, comparado con el caso en que no se usa la política de flexibilidad (Ver gráfico 8), debido a que sus entregas al detallista se ajustan en una mayor proporción al pedido que este realiza.

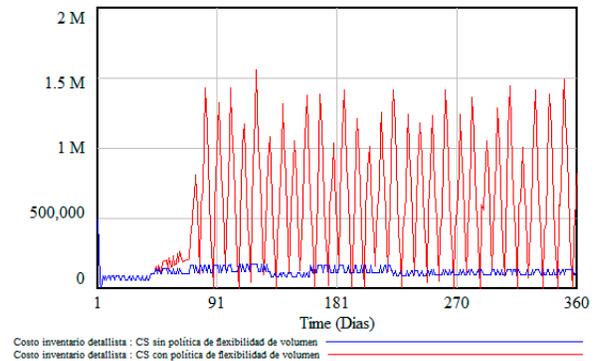


Gráfico 7. Efecto de la utilización de una política de flexibilidad de volumen sobre el costo de mantenimiento de inventario del detallista

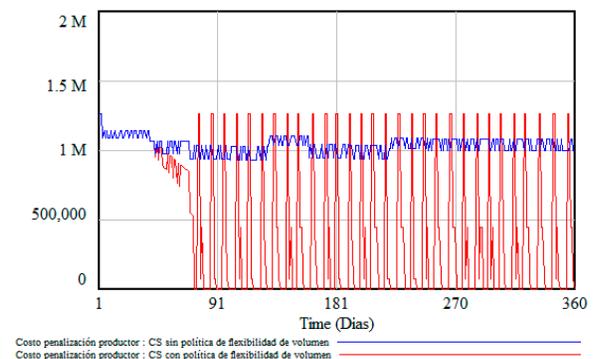


Gráfico 8. Costo de penalización del productor frente a la utilización de una política de aumento de capacidad

## V. CONCLUSIONES

- La utilización de una política de flexibilidad de volumen en la cadena de suministro de la papaya mejora notablemente indicadores como el nivel de servicio y los costos asociados a las penalizaciones del productor y detallista. Sin embargo, utilizar esta estrategia implica asumir un mayor costo de almacenamiento de inventario y un costo adicional de aumento de capacidad, que en la simulación está representado por el valor que tiene la compra o alquiler de cada hectárea.
- El análisis de la flexibilidad de volumen en cadenas de suministro de productos perecederos, realizado en este documento, busca ayudar a unificar y sistematizar una serie de conceptos relativos a la gestión de este tipo de cadenas tales como la planificación de la demanda, la política de pedido, los niveles de inventarios, etc.
- La gestión de cadenas de suministro de productos perecederos como la papaya es mucho más compleja que la de un producto con una vida larga debido principalmente a la distorsión en la demanda que causa el deterioro del producto a lo largo de la cadena.

## REFERENCIAS

- [1] S. Croom, P. Romano, and M. Giannakis, "Supply chain management: an analytical framework for critical literature review," *Eur. J. Purch. Supply Manag.*, vol. 6, no. 1, pp. 67–83, Mar. 2000.
- [2] E. P. Jack and A. Raturi, "Sources of volume flexibility and their impact on performance," *J. Oper. Manag.*, vol. 20, no. 5, pp. 519–548, Sep. 2002.
- [3] C. Blome, T. Schoenherr, and D. Eckstein, "The impact of knowledge transfer and complexity on supply chain flexibility: A knowledge-based view," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 147, pp. 307–316, Jan. 2014.
- [4] M. J. Braunscheidel and N. C. Suresh, "The organizational antecedents of a firm's supply chain agility for risk mitigation and response," *J. Oper. Manag.*, vol. 27, no. 2, pp. 119–140, Apr. 2009.
- [5] M. Stevenson and M. Spring, "Flexibility from a supply chain Flexibility perspective : definition and review," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 27, no. 7, pp. 685–713, 2007.
- [6] V. Kumar, K. a. Fantasy, U. Kumar, and T. a. Boyle, "Implementation and management framework for supply chain flexibility," *J. Enterp. Inf. Manag.*, vol. 19, no. 3, pp. 303–319, 2006.

[7] M. Holweg, "The three dimensions of responsiveness," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 25, no. 7, pp. 603–622, 2005.

[8] W. Golden and P. Powell, "Exploring inter-organisational systems and flexibility in Ireland : a case of two value chains," *Int. J. Agil. Manag. Syst.*, vol. 1, no. 3, pp. 169–176, 1999.

[9] S. Minegishi and D. Thiel, "System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain," *Simul. Pract. Theory*, vol. 8, no. 5, pp. 321–339, Dec. 2000.

[10] X. Cao, Y. Qin, and R. Lu, "Quantity Flexibility Contract with Effort Cost Sharing in Perishable Product's Supply Chain," in *2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling*, 2009, vol. 1, pp. 312–315.

[11] E. Teimoury, H. Nedaei, S. Ansari, and M. Sabbaghi, "A multi-objective analysis for import quota policy making in a perishable fruit and vegetable supply chain: A system dynamics approach," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 93, pp. 37–45, Apr. 2013.

[12] A. Rong, R. Akkerman, and M. Grunow, "An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 131, no. 1, pp. 421–429, May 2011.

[13] A. M. Paredes and A. F. Salazar, "Visión sistémica del análisis de la flexibilidad en cadenas de suministro de productos perecederos," *Sist. Telemática*, pp. 63–86, 2014.

[14] O. Castellanos, A. Fúquene, S. Fonseca, D. Ramírez, E. Giraldo, and M. Valencia, "ESTUDIO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA PAPAYA EN LA REGIÓN DEL NORTE DEL VALLE-BRUT." pp. 1–63, 2011.

[15] FAO, "Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo." pp. 1–42, 2011.

[16] Procolombia, "Logística de perecederos y cadena de frío en Colombia." pp. 1–112, 2014.

[17] S. Zöller, M. Wachtel, F. Knapp, and R. Steinmetz, "Going All the Way – Detecting and Transmitting Events with Wireless Sensor Networks in Logistics," in *8 th IEEE LCN International Workshop on Practical Issues in Building Sensor Network Applications*, 2013, no. October, pp. 39–47.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ecuaciones del modelo de simulación Inventario de maduración: Cosecha-Maduración

Valor inicial: 100

Cosecha:  $\min(\text{Hectáreas cultivadas}, \text{Hectáreas máximas disponibles}) \times \text{Producción mensual}$  (Rendimiento por hectárea)

Rendimiento por hectárea: 51945

Hectáreas máximas disponibles: 1200  
"% Producción mensual": GET XLS DATA ('producción papaya REGION BRUT.xlsx', 'producción', '1', 'b2')

Maduración: DELAY FIXED (Cosecha, Tiempo de maduración, Cosecha)

Tiempo de maduración: INTEGER (RANDOM UNIFORM (6,8, 6))

Inventario apto para el consumo: Maduración-Despacho de producto-Desperdicio de producto

Valor inicial: 100

Despacho de producto: IF THEN ELSE (Inventario apto para el consumo > 0,  $\min(\text{Pedido}, \text{Inventario apto para el consumo} - \text{Desperdicio de producto})$ , 0)

Pedido: IF THEN ELSE (Inventario detallista  $\leq$  Punto de reorden, Cantidad a pedir  $\times (1 + \text{Factor de desperdicio})$ , 0)

Cantidad a pedir: 120000

Punto de reorden: 120000

Factor de desperdicio: 0.05

Desperdicio de producto: IF THEN ELSE (Inventario apto para el consumo > 0,  $\text{Factor de desperdicio en almacenamiento de agricultor} \times \text{Inventario apto para el consumo}$ , 0)

Factor de desperdicio en almacenamiento de agricultor: 0.08

Inventario en tránsito: Despacho de producto-Llegada de producto

Valor inicial: 0

Llegada de producto: DELAY FIXED (Despacho de producto  $\times (1 - \text{Factor de desperdicio en tránsito})$ , Lead time, Despacho de producto)

Factor de desperdicio en tránsito: IF THEN ELSE ((Lead time/Tiempo de degradación) > 1, 0.35, 0.06)

Lead time: RANDOM UNIFORM (1, 3, 1)

Tiempo de degradación: 2

Inventario detallista: Llegada de producto-Desperdicio de productos final-Venta

Valor inicial: 100000

Desperdicio de producto final: IF THEN ELSE (Inventario detallista > 0,  $\text{Factor de desperdicio} \times \text{Inventario detallista}$ , 0)

Venta: IF THEN ELSE (Inventario detallista > 0,  $\min(\text{Inventario detallista} \times (1 - \text{Factor de desperdicio}), \text{Total a suministrar})$ , 0)

Total a suministrar: Backorder+Pedidos recibidos

Backorder:  $\text{Pedidos recibidos} - \text{Pedidos suministrados} + 0.005$

Valor inicial: 0

Pedidos recibidos: Demanda

Pedidos suministrados: Venta

Demanda:  $\text{MAX}(\text{IF THEN ELSE}(\text{RANDOM NORMAL}(33398, 44696, 39047, 5649, 39047) - \text{Unidades de producto pérdidas por mal servicio} > 0, \text{RANDOM NORMAL}(33398, 44696, 39047, 5649, 39047) - \text{Unidades de producto pérdidas por mal servicio}, 0.001), 0.0001)$

Unidades de producto pérdidas por mal servicio:  $\text{Backorder} \times \text{Porcentaje de pérdida}$

Porcentaje de pérdida: 0.0711

Nivel de servicio:  $\text{MAX}(\text{IF THEN ELSE}((1 - \text{Venta/Demanda}) \leq 0, 1, \text{Venta/Demanda}) - (\text{Unidades de producto pérdidas por mal servicio}/\text{SMOOTH}(\text{Demanda}, 30)), 0)$

Adquisición de terreno: DELAY FIXED (IF THEN ELSE (Nivel de servicio  $\leq$  0.5, Adquisición de hectáreas, 0), Tiempo de espera para adquisición, 0)

Tiempo de espera para adquisición: 30

Adquisición de hectáreas: 9

Hectáreas cultivadas: Adquisición de terreno

Valor inicial: 219

## 11. HOW CAN QUALITATIVE ANALYSIS OF SMALL MODELS IMPROVE THE STUDY OF BIGGER ONES. A VIEW FOR SYSTEM DYNAMICS.

**JOHNNY VALENCIA CALVO, CARLOS JAIME FRANCO**

Universidad Nacional de Colombia - Medellín, Colombia  
jvalenciocal@unal.edu.co, cjfranco@unal.edu.co

**GERARD OLIVAR**

Universidad Nacional de Colombia - Manizales, Colombia  
golivart@unal.edu.co

**ISAAC DYNER REZONZEW**

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano - Colombia  
isaac.dynerr@utadeo.edu.co

### ABSTRACT

In the following paper, we show how the basis of qualitative analysis of a small model of national electricity market, based on system dynamics. We can recognize the points of leverage in the market. For a model with the same dynamical hypothesis.

This allows us to perform a sensitivity analysis for specific parameters at a more aggregate model with out a qualitative analysis. As a result, we conclude that, as long as the dynamic scenario is the same for both models, with the mathematical study of the small model is sufficient. Likewise, the role that analysis to schemes arising in system dynamics in mind. And in particular, its application to modeling and simulation for a national electricity market.

**KEYWORDS:** Complex behavior, System dynamics, Dynamical systems, Energy markets, Methodology, Modeling and simulation.

### I. INTRODUCCIÓN

Modelos basados en dinámica de sistemas se emplean con frecuencia para investigar los efectos y/o escenarios, en la mayoría de los casos, para asuntos públicos [1], [2]. Desde temas que abarcan salud pública, funcionamiento de empresas y mercados energéticos, hasta desarrollo sostenible, medio ambiente y más en general, problemas que requieren un amplio nivel de detalle para representar sus comportamiento [1], [3]–[6]. En consecuencia, surge la inquietud acerca del nivel de agregación que se debe utilizar para cuantificar las características de la realidad. Así como, el costo beneficio de reunir en unas cuantas variables o parámetros, pautas que permitan tomar decisiones.

“There is an assumption that expensive sponsorship must precede an effort to address important issues. However, if the objective is sufficiently clear, a rather powerful small model can be created, and the insights sharply focused. Often, the onsequences of such a book will be so dramatic and controversial that few financial sponsors are willing to be drawn into the fray. However, the task can lie within the resources of an individual. Where are the people who can carry system dynamics to the public?” Forrester, 2007. [2]

En este sentido, existen puntos en común de quienes intentan definir esta cuestión. La discusión se mueve en torno a que el modelado y análisis dependen de los menesteres del modelador, los comportamientos que procura reproducir y los escenarios que espera evaluar [7]. Por lo mismo, se propone que, además de recurrir a

la dinámica de sistemas, emplear la teoría clásica para analizar sistemas dinámicos y suaves a trozos, y estudiar sus resultados de manera cualitativa [5], [8].

El propósito de este trabajo es exponer cómo utilizando la teoría clásica que ofrecen los sistemas dinámicos para realizar el análisis cualitativo de un modelo de mercado de electricidad, basado en dinámica de sistemas, se pueden explotar resultados adicionales del modelado. La noción de cualitativo tiene diferentes connotaciones en el campo del modelado. Se esperaría que la información contenida en los diagramas causales tenga esta naturaleza [5].

Ese no es el significado de cualitativo que se discute. El término cualitativo hace referencia a los diferentes comportamientos que un sistema exhibe, es decir, las tendencias de su flujo dinámico a lo largo del tiempo. Por ejemplo, cuando en el sistema, una variable de nivel se incrementa, decrece, presenta oscilaciones o llega a un punto de equilibrio. Y, además, si dicha dinámica está determinada por un parámetro en específico (puntos de apalancamiento) o conjunto de reglas de decisión que la afectan [8], condiciones de frontera, discontinuidades, entre otros.

La estructura fundamental de la dinámica de sistemas permite evidenciar una parte de modelado matemático y otra que se centra en los métodos numéricos de simulación. Por lo mismo, un modelo basado en dinámica de sistemas es un objeto matemático [5]. Por ello, un análisis matemático de sus flujos dinámicos, ofrece un amplio espectro de posibilidades a la hora de formalizar y comprender los mismos. La complementariedad entre dinámica de sistemas y el análisis matemático, con la ayuda de la teoría de los sistemas dinámicos no lineales, permite establecer el comportamiento cualitativo. Sin embargo, a veces, resulta difícil distinguir entre lo cualitativo y lo cuantitativo. Por ello, partiendo de un esquema mental, que es fundamentalmente la raíz de la dinámica de sistemas, es posible alcanzar de manera clara modelos cuantitativos que describan el sistema en cuestión.

Algunos trabajos se han adelantado al respecto. Ejemplo de ello es la investigación de J. Redondo, [9], en donde plantea, que es posible modelar el mercado eléctrico colombiano explorando las ecuaciones del modelo mediante un sistema suave a trozos. De esta forma, es posible utilizar esquemas de modelado no lineales de sistemas suaves a trozos o discontinuos (PWS de sus siglas en inglés Piece-Wise Smooth), que representan en alto grado los fenómenos presentes en

situaciones reales. Se refuerza dicho planteamiento, ya en un trabajo previo, que permite modelar un mercado eléctrico nacional utilizando un sistema de ecuaciones diferenciales suaves por tramos y aplicar los criterios de estabilidad en el mismo [10], [11]. Los modelos basados en dinámica de sistemas son la traducción de un tipo de modelo mental en el lenguaje de sistemas dinámicos [5].

De lo anterior, resulta que existe una amplia gama de estrategias para modelar y simular mercados eléctricos [6], [12] – [14]. Sin embargo, en lo que se refiere a la explotación de dichos modelos, son menores los aportes, quizá por los intereses mismos de quienes realizan los trabajos de investigación. Por lo mismo, surge entonces la necesidad de integrar ambas metodologías, ya que para mercados nacionales de electricidad aún queda mucho camino por recorrer y un gran número de dinámicas por explorar.

Es entonces de gran importancia la estructura metodológica de la dinámica de sistemas y el análisis cualitativo, ambas estrategias en miras de un solo camino de aprovechamiento del modelo. Esto, porque utilizando dinámica de sistemas y la teoría clásica de sistemas dinámicos para modelar mercados eléctricos, se pueden establecer las tendencias dinámicas del sistema bajo la variación de parámetros, permitiendo la construcción de un mapa con todos los escenarios posibles del sistema. Ello, además de la identificación de los parámetros que afectan significativamente el comportamiento del mismo, y definir los puntos de apalancamiento del mercado.

Para explorar esta estrategia, se resume en la siguiente sección cada una de las partes de la síntesis metodológica y, a continuación, en un caso de estudio, partiendo de trabajos previos que permitieron identificar los puntos de apalancamiento del mercado, de manera cualitativa, en un modelo más pequeño. Se muestra entonces, cómo, si la hipótesis dinámica para ambos modelos es la misma, el comportamiento del modelo más grande se ve regido de manera semejante por los parámetros que mostro el estudio del modelo previo. Finalmente, se intenta aprovechar al máximo ese modelo y se establecen las conclusiones que se obtienen de dicho análisis y del trabajo de investigación.

## II. SÍNTESIS METODOLÓGICA

Éste planteamiento surge después de hacer una revisión sistemática de la literatura, e indica el modo en el que se procede para integrar de manera

complementaria la dinámica de sistemas y el análisis dinámico. Ya en 1989 Sterman plantea, en uno de sus trabajos [3], cómo se puede estudiar la aparición de caos determinístico en un modelo experimental de economía basado en pensamiento sistémico. Análogamente, es posible evidenciar en los primeros trabajos de Aracil [15], cómo de manera sistemática se parte de un modelo basado en dinámica de sistemas y se llega finalmente al estudio de ecuaciones diferenciales [5].

Para escribir la síntesis metodológica que aquí se propone, se consideran los esquemas metodológicos que plantea Aracil en su documento de Dinámica de Sistemas [4]. En él se muestra de manera general cómo, desde un esquema mental y utilizando la teoría del pensamiento sistémico, es posible aprovechar un modelo basado en dinámica de sistemas. Además, se tiene el libro de Sterman Business Dynamics [16], en donde es posible identificar diferentes herramientas y métodos sistémicos para validar y evaluar un modelo. Este último con una motivación ciertamente empresarial.

Estos planteamientos son aplicables al modelado basado en sistemas dinámicos y, aunque aún no se ha escrito una síntesis en que estos se integren para establecer una metodología, la manera en que se plantean, analizan y finalmente se explotan los modelos, arroja resultados complementarios. Es decir, de la revisión sistemática en la manera en que estos autores modelan y aprovechan los modelos, se evidencia la síntesis aquí descrita. Cabe anotar que dicho proceso no es estrictamente secuencial y, como en todo proceso de modelado, es iterativo. A continuación, se hace una breve descripción de cada fase de la metodología que integra la Dinámica de Sistemas y el Análisis Dinámico.

1) Definición del problema: en esta primera etapa, se plantean una serie de hipótesis dinámicas que reflejan la influencia de los diferentes componentes del sistema que se quiere estudiar. En esta fase, todo parte de un esquema mental.

2) Conceptualización del sistema: en esta fase, se propone plantear el diagrama de influencias del sistema y, evidenciar de manera concreta cómo las hipótesis planteadas del esquema mental influyen en la dinámica del modelo. Ello da lugar al diagrama causal.

3) Formalización: luego de que se cuenta con un diagrama causal, es posible obtener el diagrama de

flujos y niveles o de Forrester. Adicionalmente, se facilita la obtención de las ecuaciones. El diagrama de flujos y niveles es de por sí un objeto matemático y, como tal, puede representarse mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales.

4) Comportamiento del modelo: en dinámica de sistemas, esta etapa del modelado consiste en realizar la simulación numérica del modelo y explorar las trayectorias del mismo. Para el usuario, es transparente la manera en cómo el paquete de simulación soluciona las ecuaciones, aunque, en algunos casos, es posible personalizar el método de integración y parámetros del mismo. De forma paralela es posible encontrar la solución del sistema de ecuaciones. En esta etapa surgen varias opciones relacionadas con el grado de complejidad del sistema de ecuaciones que se extrajeron en la fase anterior.

5) Evaluación del modelo (o validación del modelo): tanto para los modelos basados en dinámica de sistemas como para modelos basados en sistemas dinámicos, esta etapa es de crucial importancia. Aquí es cuando se someten a diferentes pruebas, que garantizan su validez y utilidad. Por tanto, hay diferentes maneras de hacerlo, pero, en esencia, el objetivo es que exista coherencia lógica entre los resultados numéricos y las trayectorias, con las hipótesis planteadas.

6) Explotación del modelo: normalmente, en Dinámica de Sistemas, es en esta fase cuando se evalúan políticas aplicadas al modelo estudiado, y el efecto que estas generan o qué escenarios plantean. Se realiza análisis de sensibilidad en el comportamiento o en las políticas. Y, para aprovechar más ampliamente el modelo hasta el momento obtenido. Se puede entonces hacer un enfoque en el análisis cualitativo. Una de las motivaciones principales de realizar un análisis cualitativo es poder evidenciar y definir fenómenos no lineales que se presenten, como puntos fijos, oscilaciones e incluso caos. En algunos casos, los modelos planteados no poseen la riqueza dinámica que podría esperarse; pero, en contrapartida, el análisis cualitativo ofrece a la dinámica de sistemas una explotación mayor del modelo. Este planteamiento surge motivado por la necesidad de reconocer los parámetros y su influencia directa en el sistema modelado. Es decir, qué tan estables o inestables son las soluciones del sistema, de qué manera están los parámetros asociados a las oscilaciones que se aprecian en algunas trayectorias y, reforzar o refutar los

argumentos de las políticas y los escenarios que se pueden presentar en el modelo que se esté estudiando.

### III. CASO DE ESTUDIO: UN MERCADO DE ELECTRICIDAD NACIONAL CON DOS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN

Aunque están basados en dinámica de sistemas, se puede aprovechar la teoría de sistemas dinámicos para obtener y explotar modelos sustancialmente agregados, que representan en gran medida el comportamiento del mercado. A continuación, se realiza el modelado, análisis, simulación y explotación de un caso particular.

Ya en el trabajo presentado por Dyner et al, en el 2000 [17], se definió la estructura de un mercado nacional de electricidad que incluye el lado de la oferta y la demanda como los puntos de apalancamiento del mismo. Igualmente, se definió entonces el margen de reserva del sistema como el puente que une la oferta con la demanda y permite medir los efectos sobre el precio que esta señal tendría. Es posible entender dicho mercado, como cualquier otro mercado en el que la disponibilidad medida a través del margen de reserva afecte el precio y la inversión en el sistema. La Fig. 1 representa el diagrama de influencias o causal de cada una de las variables incluidas en el mercado nacional de electricidad. Se tienen entonces dos ciclos de balance, el ciclo B1 y el ciclo B2, que no son más que el lado de la demanda y el lado de la oferta, respectivamente. Se debe garantizar un margen de reserva positivo, pues, de lo contrario, habría racionamiento de electricidad. Esto se traduce en que si el margen de reserva es pequeño, su relación con el precio es inverso, porque se acerca una escasez y, al contar con un precio de generación alto, los operadores podrán invertir en la planta de generación.

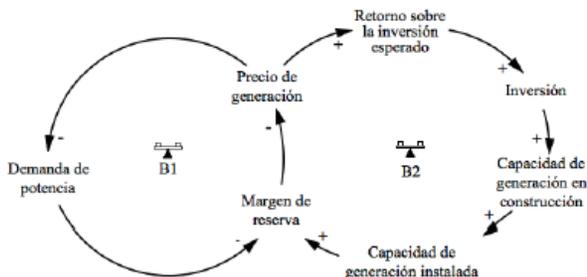


Figura 1. Diagrama causal que reúne las hipótesis dinámicas, para el comportamiento de un mercado de electricidad nacional.

Luego de conceptualizar el mercado nacional de electricidad se formula el diagrama de Forrester, también conocido como diagrama de flujos y niveles. En el diagrama de flujos y niveles de la Fig. 2, se muestran las variables de nivel, representadas por el rectángulo, también conocidas como variables de estado. También se muestran las variables auxiliares, correspondientes a cada uno de los círculos, que permiten establecer los flujos dinámicos entre cada una de las variables de nivel.

Ahora es posible obtener el sistema de ecuaciones, como el diagrama de la Fig. 2 es, de hecho, un objeto matemático, es posible escribir el sistema de ecuaciones diferenciales que representa el mercado nacional de electricidad, pero también es cierto que la cantidad de parámetros, variables auxiliares y variables de nivel son demasiadas. Lo que finalmente conlleva una ardua labor matemática. Por lo mismo, partiendo del análisis cualitativo realizado a un modelo nacional de electricidad más desagregado, se plantean las siguientes premisas.

En los trabajos [10] y [11], se encontró que el sistema de ecuaciones para un modelo más pequeño es como Eq. (1).

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -rx_1 + qx_2 \\ \dot{x}_2 = -qx_2 + B \\ \dot{x}_3 = kAx_3 \end{cases} \quad (1).$$

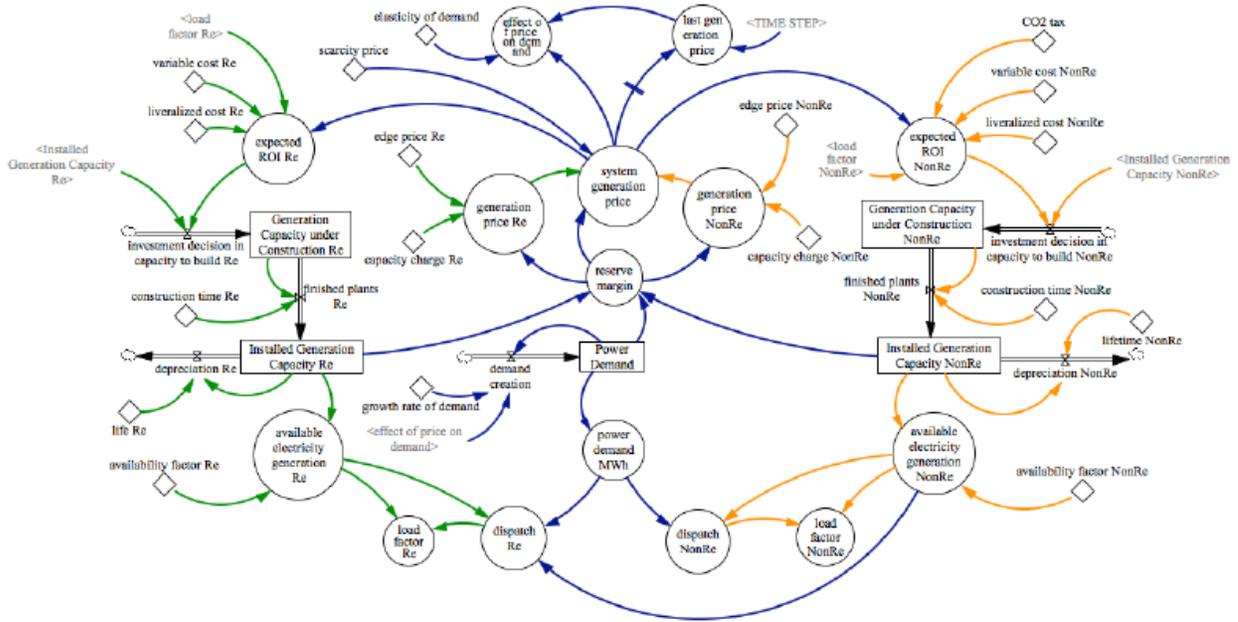


Figura 2. Diagrama de flujos y niveles que permite simular el comportamiento de un mercado nacional de electricidad.

Donde  $\bar{x}_i$  con  $i=1, 2, 3$ , son las variables de estado del sistema.

Siendo  $x_1$  la capacidad de generación instalada,  $x_2$  la capacidad de generación en construcción y  $x_3$  la demanda de potencia.  $B$  es la capacidad a construir, definida por una función no suave escalonada, que depende de la decisión de inversión  $D_{inv} = \max\{0, ROI\}$  y,

$$ROI = \frac{f_c(P_{gen} - C_v) - C_{fv}}{C_{fv}} \quad (2).$$

Con  $f_c, r, q, C_{fv} > 0$ ;  $k \in \mathbb{R}$ ;  $C_v, I \geq 0$ .

$$A = \left( \frac{P_{gen}}{P} \right)^\epsilon \quad \text{con } \epsilon < 0; P > 0.$$

A se define como el efecto del precio sobre la demanda de potencia. Finalmente, el precio de generación es  $P_{gen}$  y  $MR$  es el margen de reserva del sistema, que mide la relación entre la oferta y la demanda, ver Eq. (3).

$$P_{gen}(MR) = \frac{a}{1 + e^{MR}} + b \quad MR = \begin{cases} \omega & \text{si } x_1 \leq x_3 \\ \omega + \frac{x_1 - x_3}{x_3} & \text{si } x_1 > x_3 > 0 \end{cases} \quad (3).$$

Pues bien, en los trabajos previos mencionados anteriormente e incluidos en las referencias se

encontraron algunos aspectos que definen su comportamiento. Debido a que el interés de este documento no es precisar sobre la obtención y análisis de las ecuaciones. Sino, utilizar algunos de sus resultados para un modelo más grande o agregado queda, ciertamente, un amplio abanico de comportamientos y análisis por realizar. Dicho trabajo da lugar a otros resultados concretos [10]. Para cumplir con ese propósito, se recurre a la teoría clásica de la dinámica no lineal y la teoría de modelamiento de sistemas suaves por tramos. En este sentido y basados en los resultados de [10], [11], se proponen probar en el diagrama de la Fig. 2, las siguientes hipótesis:

1) Sensibilidad de la tasa de crecimiento de la demanda: del análisis de estabilidad del sistema de ecuaciones diferenciales presentado en Eq. (1), se encontró que, en términos generales, la estabilidad del sistema depende de la tasa de crecimiento de la demanda. Dicho valor se encuentra alrededor del 3% o 4% anual, y está descrito por el parámetro  $k$ . Para Colombia, el promedio es del 3%, mientras que en algunos países europeos, es del -1%. Se puede comprobar que, si la tasa de crecimiento de la demanda es positiva, el sistema es inestable, presentando un crecimiento exponencial de la variable de estado asociada a la demanda. En cambio, si la tasa es negativa, la demanda tiende a cero. Ver Fig. 3.

2) Puntos de apalancamiento: de un estudio más detallado, es posible encontrar la influencia de estos parámetros en el comportamiento del mercado. Por lo anterior, de un análisis cualitativo, se concluyen asuntos como los siguientes: las decisiones de inversión y la capacidad a construir, al ser superficies de conmutación, dan lugar a planos de discontinuidad. Si se logra establecer el rango para el cual el flujo dinámico

del mercado evoluciona sin tener que conmutar entre las superficies, se reduce la variabilidad en las decisiones de los operadores. De manera adicional, si se compara la Eq. (3) con la Eq. (2) que define el ROI, es más claro que los parámetros asociados a este último son los que afectan significativamente la distribución del retrato de fase. Ver Fig. 4.

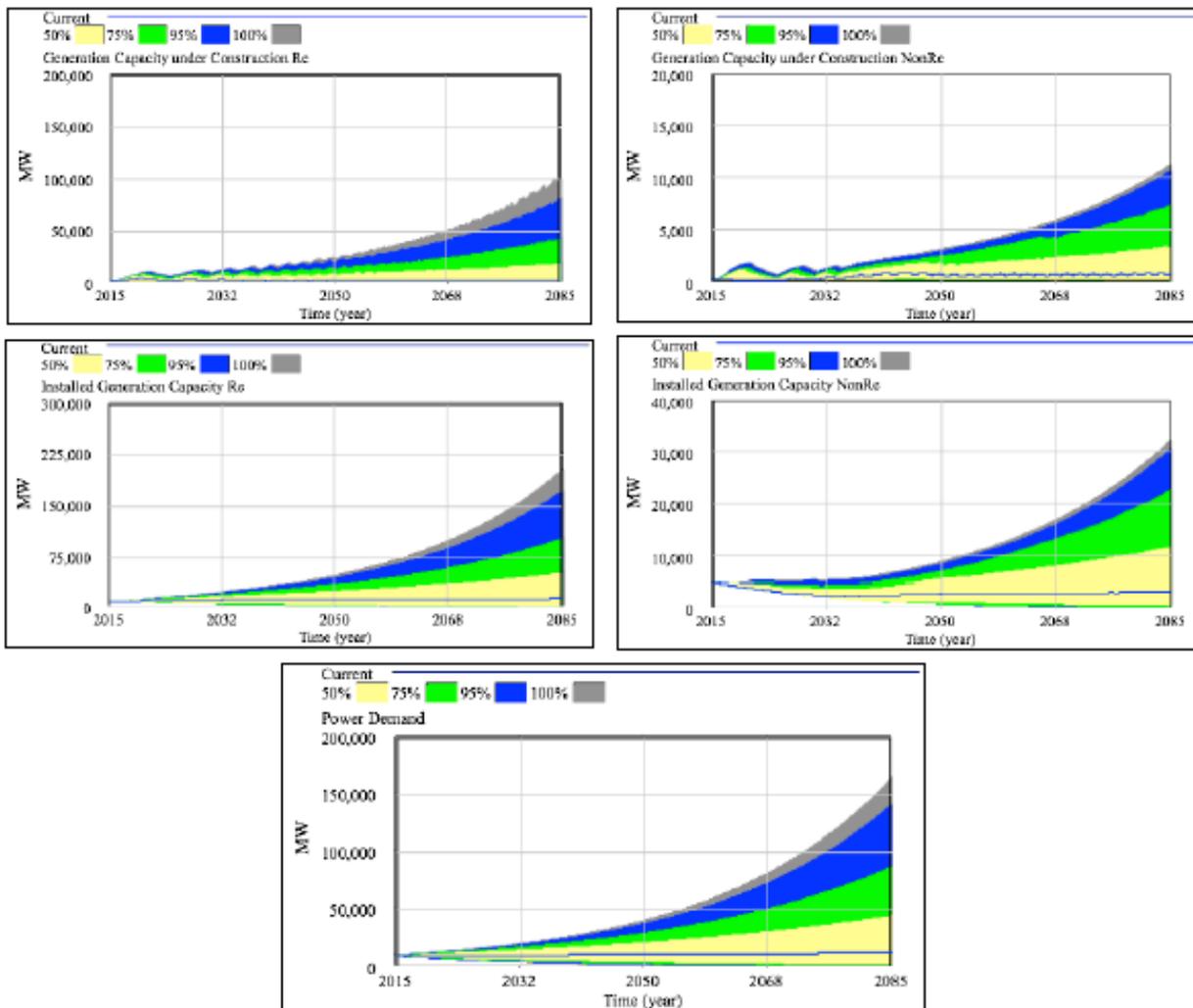


Figura 3. Resultados al variar la tasa de crecimiento de la demanda de un mercado nacional de electricidad.  $(-0.04 < k < 0.04)$

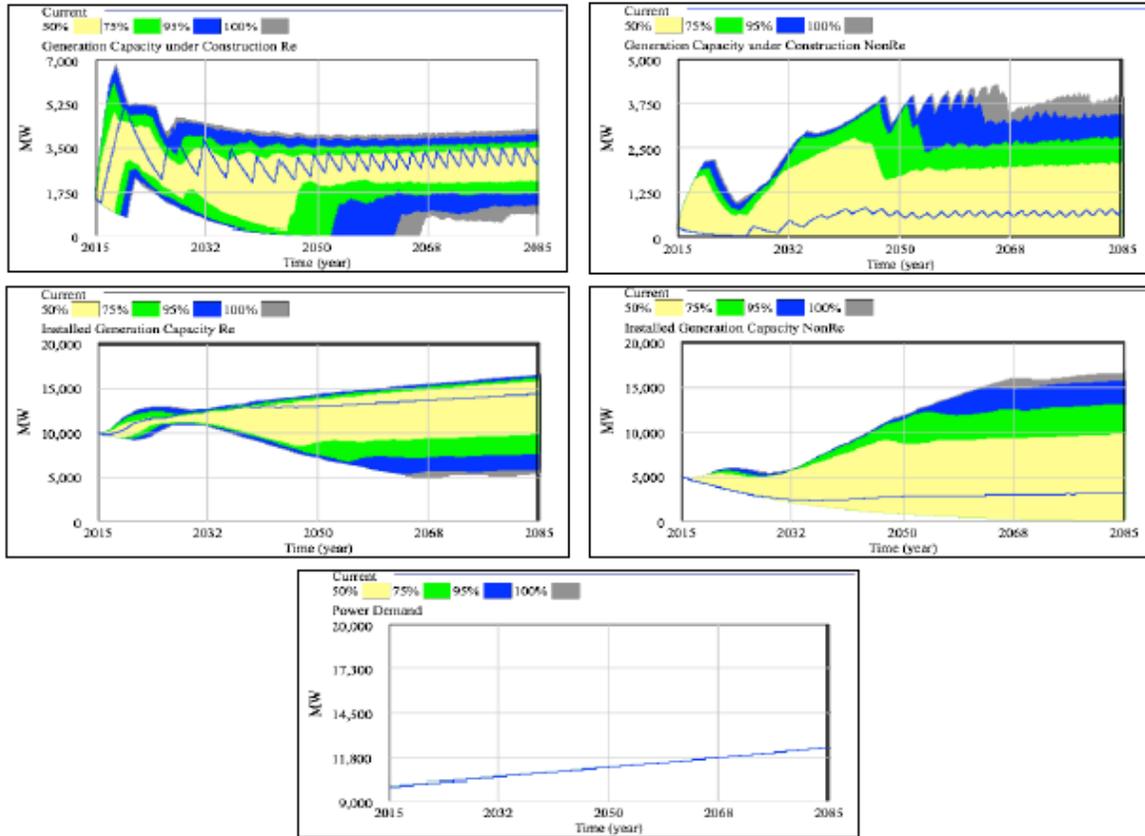


Figura 4. Resultados al variar el cargo por confiabilidad, asociado a la tecnología renovable. ( $0 < b < 30$ )

#### IV. CONCLUSIONES

La complementariedad existente entre la dinámica de sistemas y la teoría de sistemas dinámicos, facilita el estudio de los modelos que en procesos sociales implican implementación de políticas. De manera sucinta, se puede notar cómo, de pequeños modelos, es posible extraer información valiosa de los puntos de apalancamiento del caso de estudio. Y en este sentido, centrar la atención de análisis en los mismos, contando con el formalismo matemático que respalda el hecho de elegir dichos parámetros. Es decir, se puede explotar la información que se logra traducir a ecuaciones diferenciales de manera más amplia, permitiendo reconocer variables en los puntos de apalancamiento del sistema, acercándose mediante una metodología sistemática a una mejor comprensión del problema.

En el caso particular de este trabajo, se ha demostrado que mediante el uso de un conjunto de herramientas numéricas y analíticas, se pueden estudiar los sistemas que modelan la oferta y la demanda de electricidad en un mercado nacional. Quizá el ejemplo mostrado en este documento, invita al lector a preguntarse acerca de

cuál es la magnitud para hablar de modelos grandes o pequeños. Pues bien, se hace referencia a modelos grandes, cuando, la cantidad de variables de estado aumentan, y con ello, las variables auxiliares. Aquí por ejemplo, el incluir el despacho de dos tecnologías en un mercado de electricidad nacional, hace del análisis matemático algo ciertamente engorroso, por lo mismo se optó por probar los parámetros de un modelo simple, que reúne de manera representativa la hipótesis dinámica del mercado. Encontrando que, dichos parámetros son los que definen los puntos de apalancamiento del sistema, junto a la tasa de crecimiento de la demanda, que determina la estabilidad del mismo. Así, se pueden concentrar los esfuerzos de análisis de sensibilidad en ellos para aprovechar en mayor medida el modelo.

Es de aclarar que, todo lo que implica la obtención del sistema de ecuaciones así como su análisis cualitativo ha sido presentado en [10], ya que el propósito de este artículo es reconocer la pertinencia del estudio de un modelo más pequeño para los mercados nacionales de electricidad, aplicando dichos resultados en un modelo ligeramente más complejo.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia y al Departamento Administrativo de Ciencias, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS, por el soporte económico para la realización de esta investigación.

### REFERENCIAS

- [1] D. C. Lane and J. D. Sterman, "Profiles in Operations Research: Jay Wright Forrester," Springer, 2011.
- [2] J. W. Forrester, "System dynamics — the next fifty years," *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 23, no. 2, pp. 359–370, 2007.
- [3] J. D. Sterman, "Deterministic chaos in an experimental economic system," *Massachusetts Inst. Technol.*, vol. 1, no. 1, p. 51, 1988.
- [4] J. Aracil and F. Gordillo, *Dinámica de Sistemas*. Madrid: Alianza Universidad de Textos, 1997.
- [5] J. Aracil, "On the qualitative properties in system dynamics models," *Eur. J. Econ. Soc. Syst.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–18, 1999.
- [6] S. M. Londoño Hernandez and A. Lozano, "Revisión de herramientas aplicadas al modelamiento de mercados de electricidad," *Rev. Ing. e Investig.*, vol. 29, no. 3, pp. 67–73, 2009.
- [7] N. Ghaffarzadegan and G. P. Richardson, "How small system dynamics models can help the public policy process," *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 27, no. 1, pp. 22–44, 2011.
- [8] Y. A. Kuznetsov, S. Rinaldi, and A. Gragnani, "One-Parameter Bifurcations in Planar Filippov Systems," *Int. J. Bifurc. Chaos*, vol.13, no. 08, pp. 2157–2188, Aug. 2003.
- [9] J. M. Redondo, "Modelado de Mercados de Electricidad," PhD Thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [10] J. Valencia, G. Olivar, C. J. Franco, and I. Dyrner, "Non-Smooth Dynamics in a Model of Energy Market," *Int. J. Bifurc. Chaos*, vol.To be publ, p. 20, 2015.
- [11] J. Valencia, C. J. Franco, and G. Olivar, "Análisis cualitativo de un mercado de electricidad nacional basado en dinámica de sistemas.," in *Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2013*, 2013, no.X.

### AUTORES



**Johnny Valencia** received his degree in Electronics Engineering in 2010 and M.Sc. in Industrial Automation, from Universidad Nacional de Colombia, in 2012. He currently is a Ph.D. student at Universidad Nacional de Colombia. His research experience has led him to

become involved in topics related to dynamic analysis,

nonlinear dynamics and system dynamics, focusing on modeling, simulation and applications of mathematics in engineering.



**Carlos Jaime Franco** got his Bachelor in Civil Engineering, and his Ph.D. in Engineering. His current research interests are modeling systems, energy markets, and complexity. He is a professor of Complex Systems at Universidad Nacional de Colombia. He also has experience in the electricity sector after working by ten years in ISA, a leading company in the wholesale Colombian Electricity Market.



**Gerard Olivar** received his degree in Mathematics from University of Barcelona, Spain, in 1987; and his Ph.D. in Science - Mathematics from Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain, in 1997. His research interests are in Engineering Mathematics and Applied Mathematics. Specifically, applications of modeling, simulation, nonlinear dynamics and complex systems to Science and Engineering.



**Isaac Dyrner** got his Bachelor in Mathematics, his M.Sc. in Statistics and Operational Research and his Ph.D. in Decision Sciences, from University of London (LBS). He was associate professor at Universidad Nacional de Colombia in the areas of Operations Research, System Dynamics, Strategy, Regulation and Energy.

## 12 DINÁMICA DE SISTEMAS COMO HERRAMIENTA PARA EL APRENDIZAJE Y TOMA DE DECISIONES EN UN SISTEMA PRODUCTIVO DE PISCICULTURA

ING. JUAN SEBASTIAN ANGARITA ZAPATA, MSC. HUGO HERNANDO ANDRADE SOSA, CARLOS ANIBAL VASQUEZ CARDOZO

Universidad Industrial de Santander - Colombia  
juanchogo1125@gmail.com, handrade\_sosa@hotmail.com, cvasquez@uis.edu.co

### ABSTRACT

The operation and management of an aquatic productive system is a complex process that requires a high level of expertise by the person who is in charge of this task. Thus, the purpose of this article is to expose a technological tool that support the making-decision process in an aquaculture system. This tool is based on a system dynamic model that allows the producer simulates different scenarios for evaluating production goals; and determining what the best decisions are for the management of the productive system.

**KEYWORDS:** aquaculture, information system, modelling and simulation, system dynamics.

### RESUMEN

La gestión de un sistema productivo acuático es un proceso complejo que requiere un elevado nivel de experticia por parte de la persona encargada de su administración. Por tal motivo, el propósito de este artículo es presentar los fundamentos teóricos de una herramienta tecnológica que apoye la toma de decisiones argumentada en la gestión y administración de un sistema de piscicultura (cultivo de peces). Para ello, la herramienta planteada se basa en la construcción de un modelo de simulación con dinámica de sistema. Con el cual, el productor puede simular y experimentar de forma iterativa con el modelo para evaluar posibles escenarios futuros que le permitan realizar acciones en función de las metas de producción que se desean alcanzar

**PALABRAS CLAVE:** piscicultura, sistemas de información, modelado y simulación, dinámica de sistemas.

### I. INTRODUCCIÓN

A administración de sistemas productivos requiere el uso de herramientas tecnológicas que apoyen su funcionamiento y sostenibilidad. Estas herramientas, facilitan la gestión de cada uno de las etapas productivas al registrar, organizar y procesar datos de los procesos dinámicos involucrados en la producción de un bien o servicio. Caso particular es el modelado y la simulación por computador para apoyar y facilitar la gestión de sistemas productivos. Ellos proveen por medio de herramientas tecnológicas información necesaria, para que el administrador del sistema productivo pueda tomar decisiones informadas en función de las metas de producción que se desean alcanzar.

Caso particular de sistemas productivos, son los sistemas de piscicultura (producción de peces) donde el uso de herramientas tecnológicas en cada una de sus etapas otorga facilidades para el mantenimiento, funcionamiento y administración del sistema productivo. Estas herramientas, son concebidas como sistemas expertos que apoyan la toma de decisiones argumentada [3]; donde el usuario administrador analiza, interpreta y evalúa, diferentes escenarios de producción en función de la información registrada y procesada por el sistema experto. Lo cual, conduce a maximizar la productividad mientras se mantiene un balance con los factores económicos, sociales y ambientales que condicionan e influyen sobre el sistema de piscicultura [1].

Así, el propósito de este trabajo es exponer el planteamiento teórico de un sistema de información para el aprendizaje y toma de decisiones en un sistema productivo de piscicultura. Cuyo funcionamiento se basa en un modelo de simulación construido con dinámica de sistemas, que genera proyecciones de la producción en función de los datos provenientes del monitoreo automático del estanque, así como, lo registrado manualmente por el encargado del sistema productivo.

De igual forma cabe resaltar, que el planteamiento teórico del sistema de información y la construcción del modelo de simulación con dinámica de sistemas, han sido desarrollados en el marco del proyecto de investigación "Estrategia tecnológica y didáctica que facilite el uso de modelos de simulación con dinámica de sistemas en el programa agroindustrial del IPRED".

Este proyecto fue desarrollado por los grupos de investigación SIMON y CIAGRO adscritos a la Universidad Industrial de Santander en compañía del y el Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia (IPRED, UIS), respectivamente; con el propósito de diseñar una estrategia que permita vincular el modelado y la simulación con dinámica de sistemas en el proyecto educativo del IPRED. Lo cual, busca apoyar la formación de tecnólogos y técnicos en el área de procesos agroindustriales basados en el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación.

## II. PISCICULTURA: SISTEMA PRODUCTIVO COMPLEJO Y DINÁMICO.

Un sistema productivo de piscicultura tiene un elevado grado de complejidad al involucrar elementos económicos, físicos, químicos y ambientales relacionados entre sí. Esto requiere entonces, experticia por parte de la persona encargada de la gestión del sistema productivo para tener en cuenta cada uno de dichos elementos en las decisiones que se toman sobre el cultivo de peces. En consecuencia, el productor debe mantener trazabilidad a través del tiempo de la administración de los procesos involucrados en el sistema piscícola, con la mayor eficiencia en el uso de los recursos y en procura de maximizar la productividad. Por lo tanto, factores económicos como costos fijos y variables, al igual que la disponibilidad de agua y espacio deben ser tenidos en cuenta a lo largo de las etapas de producción. Además de, la supervisión en los niveles de oxígeno del agua que acompañados del alimento utilizado, son elementos que influyen tanto el

crecimiento de los peces como la generación de desechos con impacto ambiental.

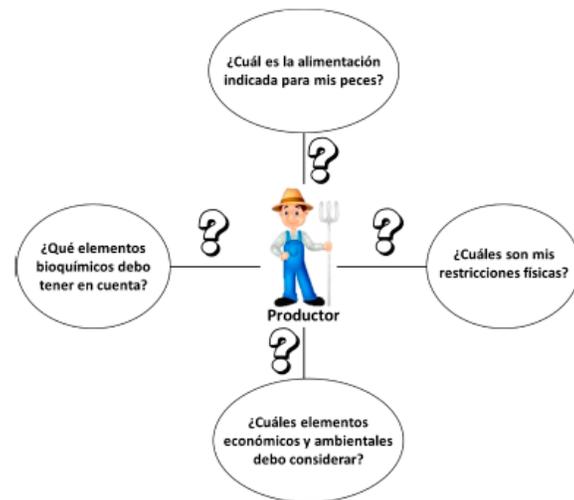


Figura 1. Interrogantes a responder para la gestión de un cultivo de peces

En consecuencia, surge una serie de interrogantes en la planificación y administración de un sistema productivo de piscicultura como se observa en la Figura 1. Tales interrogantes, deben ser respondidos por el productor utilizando una fuente de información consolidada que registre constantemente el estado de los procesos involucrados en el sistema piscícola si se desea al menos garantizar la supervivencia de ellos. Además, la herramienta de apoyo debe evaluar considerando retardos y no linealidades, escenarios proyectivos para facilitar la toma de decisiones argumentada que maximice la productividad en función de las variables económicas, físicas y bioquímicas que interactúan de forma dinámica en el sistema productivo.

Por lo tanto, para la administración de un sistema de producción piscícola puede ser de gran utilidad herramientas tecnológicas que involucren modelado y simulación para facilitar la gestión por parte del productor. Y en consecuencia, permitan mantener un estado de equilibrio entre las variables que intervienen a lo largo del cultivo de peces para lograr maximizar la productividad.

## III. HERRAMIENTAS DE SOPORTE PARA EL DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS DE PISCICULTURA.

Acorde a la revisión bibliográfica realizada hasta el momento (ver Tabla 1), los sistemas de apoyo en piscicultura utilizan un conjunto de variables

económicas, sociales y ambientales para su operación. Estas variables son características particulares del lugar físico donde se implementa el sistema productivo; con lo cual, el administrador debe introducir a través de interfaces gráficas de usuario información relevante de dichas variables. Esto permite al sistema de apoyo ejecutar los cálculos y simulaciones necesarias para establecer el estado actual del sistema y las repercusiones sobre la producción final dependiendo de la tendencia de comportamiento registrada.

Las bases a partir de las cuales operan estos sistemas de apoyo son diversas y dependen en gran medida de que tanta complejidad del proceso productivo se desea representar. Lo anterior, determinará la disponibilidad de información en diferentes campos (económicos, sociales, ambientales, etc.) de la cual el productor dispondrá para ejecutar las decisiones pertinentes sobre el cultivo de peces.

Como ejemplos de las herramientas utilizadas para la gestión de decisiones en piscicultura, es posible encontrar Análisis de decisiones multi-criterio y modelos econométricos que soportan sistemas de información. Sin embargo, hasta el momento no se han encontrado herramientas tecnológicas de apoyo soportadas en dinámica de sistemas.

Tabla 1. Revisión bibliográfica en herramientas de apoyo para piscicultura.

ARTÍCULO	HERRAMIENTA DE APOYO PLANTEADA
[1] A multiple criteria decision-making framework for regional aquaculture development.	Modelo de toma de decisiones multi-criterio que involucra tres procesos productivos: producción de alimento, producción de alevinos y producción de peces. Estos procesos son influenciados por variables económicas, sociales, y físicas.
[2] A model computer simulation model for design and management of recirculating aquaculture systems.	Modelo matemático que permite: (1) cuantificar los efectos del crecimiento de los peces y su respectiva administración en la producción final. (2) estimar los costos de producción y en consecuencia, las ganancias estimadas. (3) evaluar producción anual en toneladas y uso de infraestructura.
[3] ADDSS: a tool for regional aquaculture development	Sistema compuesto de tres módulos principales: (1) un modelo de simulación que incluye elementos económicos, físicos y bioquímicos. (2) una base de datos y (3) una interfaz de usuario con un componente de dialogo a

	través del cual el usuario interactúa con el modelo y la base de datos.
[4] Aquaculture sustainability: developing concepts of a decision support tool for licensing freshwater aquaculture in Ontario, Canada.	Herramienta software que apoya el proceso de toma de decisiones en proyectos de piscicultura teniendo en cuenta elementos tales como: calidad del agua, prácticas operativas, impactos al ecosistema, impacto de los sedimentos entre otros.
[5] Development of decision support tools for aquaculture: the POND experience	Herramienta software (POND) diseñada bajo el paradigma orientado a objetos que permite la asistencia en la toma de decisiones para sistemas productivos de piscicultura utilizando modelos de simulación.
[6] AquaFarm: simulation and decision support for aquaculture facility design and management Planning	Herramienta software que provee: (1) simulación de aspectos físicos, químicos y biológicos. (2) simulación de instalaciones y gestión de los peces en cultivo. (3) simulación de presupuestos. (4) interfaz gráfica de usuario para interactuar con la herramienta.

#### IV. DINÁMICA DE SISTEMAS COMO HERRAMIENTA QUE FACILITA LA GESTIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS.

##### A. Visión dinámico sistémica para el diseño y construcción de la herramienta tecnológica.

Al reconocer la complejidad dinámica y estructural inherente a un sistema productivo de piscicultura, los autores del presente trabajo adoptan una visión dinámica sistémica para representar este sistema productivo. Lo anterior, debido a que la dinámica de sistemas como paradigma de pensamiento y metodología de modelado y simulación, otorga la posibilidad de representar ciclos de realimentación, retardos y relaciones no lineales características del fenómeno que se está estudiando (en este caso, un sistema de piscicultura). Además de su fortaleza al momento de permitir la evaluación de escenarios futuros, para analizar las repercusiones que podrían tener la toma de decisiones sobre el cultivo de peces.

Como experiencias previas realizadas por el Grupo SIMON que orientan la formulación de un sistema de información de piscicultura, se referencia y consulta el trabajo "Ambiente Virtual de Aprendizaje Pesco 2.0" [7]. En el cual, se propicia una experiencia simulada que se acerca a la realidad de un sistema productivo de peces. De igual forma, la construcción del modelo de

simulación como motor del sistema de información, está orientado por la metodología de los “Cinco Lenguajes” planteada por el grupo SIMON de investigaciones en su libro de pensamiento sistémico [8].

**B. Sistema de información para apoyar la gestión de sistemas de piscicultura.**

La concepción y herramienta tecnológica planteada por los autores puede ser observada en la Figura 2.

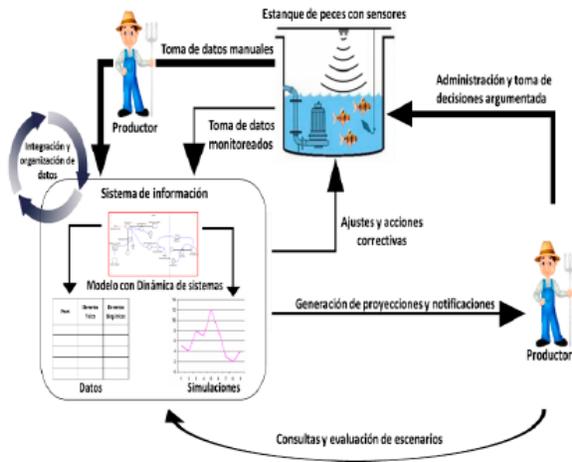


Figura 2. Sistema de información para la gestión de decisiones en piscicultura.<sup>5</sup>

Esta herramienta está constituida por sensores que registran in situ diferentes mediciones de las condiciones del estanque con peces (nivel de oxígeno en el agua, nivel de nitrógeno, temperatura, entre otros) relacionadas a su crecimiento. Además de, un sistema de información que se encarga de integrar-organizar los datos monitoreados por los sensores, así como, los datos tomados de forma manual por el productor. Los cuales son utilizados como parámetros por el modelo construido con dinámica de sistemas para realizar proyecciones del cultivo de peces en el estanque y notificaciones del estado actual del mismo. Lo anterior, permite al productor realizar acciones correctivas sobre el estanque a partir de decisiones apoyadas en el sistema de información; y maximizar las metas productivas definidas desde un inicio.

De igual forma, el productor hace parte de un ciclo de realimentación con el sistema de información. En el cual, puede realizar de forma iterativa consultas y evaluación de escenarios futuros para analizar e

interpretar las implicaciones que posibles acciones puedan tener sobre el cultivo de peces. Por lo tanto, dentro de este ciclo cerrado emerge una de las principales fortalezas que tienen los modelos construidos con dinámica de sistemas. La cual, corresponde a la posibilidad de simular fenómenos que cambian a través del tiempo y así, determinar que ajustes son necesarios para alcanzar la meta productiva establecida. En consecuencia, el productor forma parte activa en la estructura general de la herramienta tecnológica planteada por los autores. Ya que él, interactúa de forma directa con el estanque de peces y el sistema de información.

De esta forma, el diseño y elaboración del modelo construido con dinámica de sistemas debe estar enfocado a suplir los requerimientos que su principal público objetivo (el productor) necesita para administrar la producción de peces. Ya que entre más elementos del estanque de peces sean representados en el modelo dinámico sistémico, mayor será el número de elementos de juicio que el productor podrá tener en cuenta para llevar a cabo la gestión del sistema productivo.

**C. Modelo construido con dinámica de sistemas como base del sistema de información.**

*Diagrama de influencias:*

Como se mencionó anteriormente, el motor del sistema de información es un modelo construido con dinámica de sistemas. El cual, fue desarrollado utilizando el software Evolución 4.5 como plataforma para la construcción y simulación de modelos con dinámica de sistemas. De esta forma, la hipótesis dinámica del modelo construido puede observarse en la Figura 3. sistemas. De esta forma, la hipótesis dinámica del modelo construido puede observarse en la Figura 3.

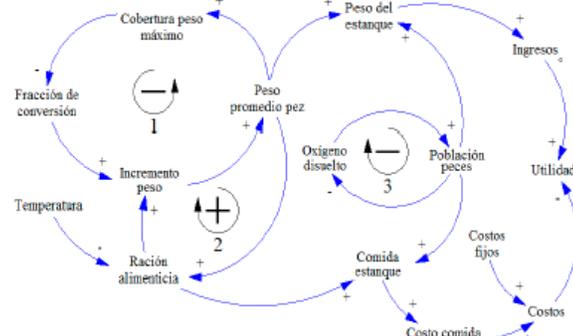


Figura 3. Hipótesis dinámica.

<sup>5</sup> Dentro de la Figura 2, las flechas de cuerpo grueso representan acciones directas (físicas) que el productor realiza sobre el estanque y el sistema de información respectivamente. Por otra parte, las flechas de cuerpo delgado

representan flujos de información de la interacción entre los tres actores de la herramienta tecnológica (estanque con sensores, sistema de información y productor).

Esta hipótesis dinámica es una primera representación del sistema productivo donde se tienen en cuenta elementos económicos, físicos y bioquímicos. Lo anterior, con el propósito de captar las interacciones dinámicas entre diferentes variables que influyen significativamente en el cuidado y crecimiento de los peces. A continuación, se procede a definir las variables utilizadas para la construcción de la hipótesis dinámica:

- **Peso promedio pez:** peso promedio para un pez del estanque en cada instante de simulación. [Unidades: gramos].
- **Cobertura peso máximo:** variable que expresa que tanto peso tiene el pez con relación al peso máximo que puede adquirir. [Unidades: adimensional].
- **Fracción de conversión:** indica cuanto de cada gramo que el pez come se convierte en carne (peso). [Unidades: adimensional].
- **Incremento peso:** incremento de peso diario en el pez. [Unidades: gramos/día].
- **Ración alimenticia:** representa los gramos de comida que el pez necesita diariamente en función del porcentaje de biomasa correspondiente a su peso en cada instante de la simulación. [Unidades: gramos/día].
- **Temperatura:** variable que representa la temperatura en el momento de suministrar comida a los peces (variaciones en grados centígrados influyen la cantidad de alimento que un pez promedio consume de la ración alimentaria que se le suministra). [Unidades: grados centígrados].
- **Peso del estanque:** peso total en gramos contenidos en el estanque en función del peso promedio de un pez y el número de peces cultivados en el recipiente. [Unidades: gramos-peces].
- **Población peces:** número de individuos que son cultivados en el proceso productivo. [Unidades: peces].
- **Oxígeno disuelto:** cantidad de oxígeno disuelto en el agua del estanque que condiciona la supervivencia de la población de peces. [Unidades: partes por millón de oxígeno].
- **Comida estanque:** cantidad de comida diaria que consume el total de peces en el estanque (esta variable depende del consumo de comida diario de un pez y el número de individuos que permanecen en el estanque). [Unidades: gramos/día].

- **Costo comida:** costo de la comida diaria suministrada a los peces del estanque. [Unidades: (pesos/día)].
- **Costos fijos:** gastos fijos relacionados al cuidado y mantenimiento diario del estanque de peces. [Unidades: pesos/día].
- **Costos:** gastos totales por alimentación del estanque más gastos fijos relacionados al cuidado del mismo. [Unidades: pesos].
- **Ingresos:** dinero proveniente de la venta de los peces cultivados en el estanque. [Unidades: pesos].
- **Utilidad:** utilidad obtenida a partir de las ganancias por venta de los peces menos los costos que implica su mantenimiento. [Unidades: pesos].

De igual forma, se describen los ciclos de realimentación de la estructura multicausal construida:

- **Ciclo de realimentación negativa 1:** este ciclo de balanceo o equilibrio se denomina "crecimiento objetivo". Dentro del cual, el crecimiento del pez aumenta a través del tiempo hasta que alcanza el máximo peso que puede adquirir (cobertura de peso máximo - característico de cada especie). Cuando esto sucede, gran parte del alimento consumido por los peces deja de destinarse para el aumento de su biomasa corporal y así, el incremento de su peso en gramos se detiene al alcanzar su peso máximo.
- **Ciclo de realimentación positiva 2:** este ciclo de refuerzo se llama "suministro de alimento". En él, la demanda de ración alimenticia va incrementando a medida que el peso del pez en gramos aumenta. Sin embargo, vale la pena resaltar que cuando el pez alcanzado su crecimiento objetivo, la ración alimenticia que se le suministra en gran parte se destina para mantenimiento de su organismo. Lo cual, conduce a que la producción de biomasa (incremento de peso) se detenga.
- **Ciclo de realimentación negativa 3:** este ciclo de equilibrio se denomina "oxigenación del agua". Dentro de las variables fundamentales para el funcionamiento de un sistema productivo de piscicultura se encuentra la cantidad de oxígeno disuelto en el estanque. Esto es tomado como un indicador de la calidad del agua como medio en el cual los peces habitan. Por ello, dentro de este ciclo se regula la población de

peces. Para los cuales se mantiene un nivel de oxigenación que garantice y favorezca su supervivencia. Sin embargo, en función del número de especímenes y el área del estanque en el cual se encuentran, se genera una densidad que consume determinada cantidad de oxígeno. Cuando esta densidad poblacional supera la cantidad de oxígeno disponible, es posible que se induzca la muerte de los peces por insuficiencia de ella.

#### DIAGRAMA DE FLUJOS Y NIVELES:

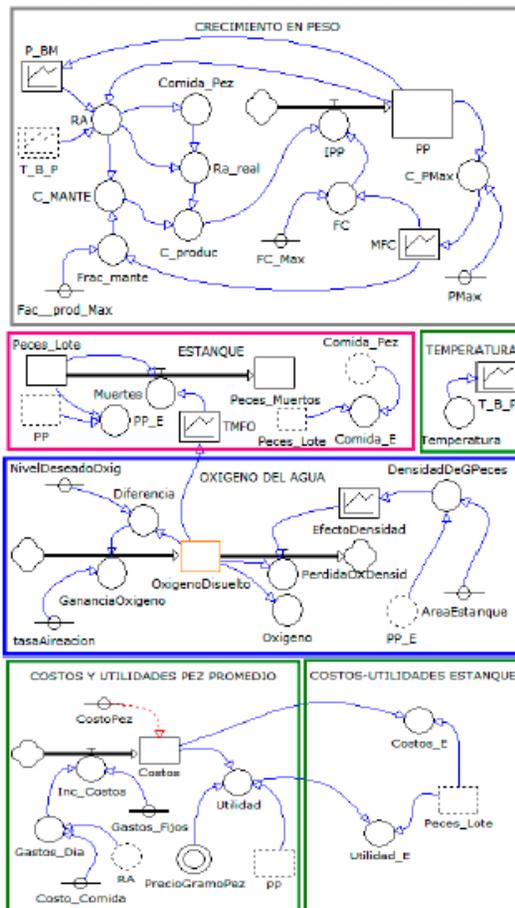


Figura 4. Diagrama de Flujos y Niveles.

Habiendo formulado la hipótesis dinámica que soporta la construcción del modelo dinámico sistémico, en la Figura 4 se presenta el Diagrama de Flujos y Niveles, y sus respectivas ecuaciones matemáticas pueden ser consultadas en la Tabla 2.

El modelo desarrollado aplicando Dinámica de Sistemas se ha diseñado con el propósito de ofrecer un espacio

para la exploración y el aprendizaje acerca de la gestión de un sistema productivo de peces. La versión presentada en este artículo constituye una primera aproximación a la complejidad dinámica subyacente en procesos de piscicultura, donde las variables que se tienen en cuenta como elementos que influyen el crecimiento de los peces y la administración del sistema productivo son: ración de alimento suministrada, temperatura del agua, nivel de oxigenación del estanque, además de, costos y utilidades del sistema piscícola, junto con la biomasa del pez como indicativo de la capacidad de carga del estanque

Los subsistemas y sectores considerados por esta primera versión del modelo son:

- **Sector crecimiento en peso de un pez promedio:** este sector contiene la dinámica de crecimiento de un pez promedio, involucrando el ciclo de realimentación negativa 1 y el ciclo de realimentación positiva 2 de la estructura causal.
- **Sector estanque:** este sector se extrapola las condiciones de un pez promedio en el estanque completo. Allí, se estima la cantidad de peces muertos por insuficiencia de oxígeno, además de, la estimación de comida necesaria para alimentar el estanque completo en función del consumo del pez promedio.
- **Sector temperatura:** este sector establece las condiciones de temperatura que oscilan dentro de un rango de grados centígrados definido para un área con condiciones climáticas específicas.
- **Sector oxígeno del agua:** este sector contiene las condiciones de oxigenación del agua y su respectiva influencia sobre la supervivencia de los peces en el estanque, tal cual se observa en ciclo de realimentación negativa 3 de la hipótesis dinámica.
- **Sector costos y utilidades pez promedio:** este sector presenta la utilidad resultante entre las ganancias por venta de un pez promedio con un peso determinado y los respectivos costos que implica su mantenimiento.
- **Sector costos-utilidades estanque:** este sector contiene la utilidad general del estanque piscícola. Ello se calcula a partir de las ganancias estimadas a partir del peso en gramos del estanque con peces, y los costos generales por mantenimiento y alimentación del estanque.

Tabla 2. Ecuaciones matemáticas para Diagrama de Flujos y Niveles.

Tipo	Nombre variable	Unidades	Ecuación/Valor inicial
Niveles	Costos	Pesos	CostoPez
	OxigenoDisuelto	Partes por millon	4
	Peces_Lote	Peces	300
	PP	Gramos	1
	Peces Muertos	Peces	0
Flujos	GananciaOxigeno	Partes por millon/dia	IF(Diferencia>0,tasaAireacion*Diferencia,0)
	IPP	Gramos/dia	C_produc*FC
	Inc_Costos	Pesos/dia	ROUND(Gastos_Fijos+Gastos_Dia)
	Muertes	Partes por millon/dia	ROUND(Peces_Lote*TMFO)
	PerdidaOXDensid	Kilometers/year	OxigenoDisuelto*EfectoDensidad
Parámetros	AreaEstanque	Metros cuadrados	50
	CostoPez	Pesos	10
	Costo Comida	Pesos/gramos	1.2
	FC_Max	Adimensional	0.92
	Fac_prod_Max	Adimensional	0.7
	Gastos Fijos	Adimensional	0.5
	PMax	Gramos	1200
	tasaAireacion	Partes por millon/dia	0.2
	NivelDeseadoOxig	Partes por millon	5
Variables Auxiliares	C MANTE	Gramos/dia	RA*Frac_mante
	C_PMax	Adimensional	PP/PMax
	C_produc	Gramos/dia	IF((Ra_real-C_MANTE)<0.0,(Ra_real-C_MANTE))
	Comida E	(Gramos/dia)*peces	Comida_Pez*Peces_Lote
	Comida Pez	Gramos/dia	RA
	Costos E	Pesos	Peces_Lote*Costos
	DensidadDeGPeces	Gramos/Metro cuadrado	PP E/AreaEstanque
	Diferencia	Partes por millon	NivelDeseadoOxig - OxigenoDisuelto
	FC	Adimensional	FC_Max*MFC
	Frac_mante	Adimensional	1-(Fac_prod_Max*MFC)
	Gastos Dia	Pesos/dia	Costo Comida*RA
	Oxigeno	Partes por millon	ABS(OxigenoDisuelto)
	PP E	Peces-gramos	Peces_Lote*PP
	RA	Gramos/dia	PP*(P_BM/100)*T_B_P
	Ra_real	Gramos dia	MIN(RA,Comida_Pez)
	Temperatura	Grados centigrados	INT(RANDOM(18,28))
Utilidad E	Pesos	Peces_Lote*Utilidad	
Relaciones no lineales	EfectoDensidad	Dimensionless	INTSPLINE(2,0,100,0,0,07170732,0.1127964,0.1159198,0.1315369,0.1534009,0.1596477,0.1627712,0.1468293,0.1502439,0.1604878,0.1843902,0.1878049,0.1946341,0.355122,0.5,0.6,0.7)
	MFC	Dimensionless	INTLINEAL(2,0,0,1,1,1,0,9707317,0,9219512,0,7853659,0,595122,0,297561,0,1463415,0,06341463,0,02926829,0)
	P_BM	Dimensionless	INTLINEAL(2,1,5,15,10,8,7,849268,7,849268,7,448293,7,7,6,713171,6,245366,5,4,9,4,507805,4,1,4,3,705854,3,6,3,4,3,3,3,2,9,2,8,2,8,2,7,2,6,2,6,2,55,2,53,2,5,2,4,2,3,2,3,2,29,2,26,2,23,2,21,2,21,2,2,2,15,2,15,2,14,2,12,2,1,2,2,1,98,1,97,1,96,1,95,1,93,1,9,1,89,1,88,1,85,1,84,1,82,1,81,1,8,1,79,1,79,1,78,1,77,1,77,1,76,1,74,1,73,1,72,1,71,1,7,1,69,1,68,1,67,1,65,1,64,1,63,1,62,1,61,1,6,1,5,9,1,59,1,58,1,58,1,57,1,55,1,55,1,54,1,53,1,52,1,51,1,5,1,49,1,47,1,46,1,44,1,43,1,42,1,41,1,4,1,39,1,39,1,39,1,38,1,37,1,36,1,36,1,35,1,35,1,35,1,34,1,34,1,34,1,33,1,32,1,32,1,32,1,31,1,31,1,3)
	TMFO	Dimensionless	INTLINEAL(2,0,0,5,0,2,0,15,0,03121951,0,0,0,0)
	T_B_P	Dimensionless	INTPASO(0,16,1,0,0,06341463,0,1804878,0,395122,0,902439,1,1,1,1,0,887804,9,0,6341463,0,4,0,2146341,0,1268293,0,06829268,0,01463415,0)
Variables Exógenas	PrecioGramoPez	Pesos	10

**SIMULACIONES:**

Construido el diagrama de flujos y niveles con su respectiva representación matemática, es posible realizar simulaciones cuyos comportamientos emergen a partir de la hipótesis dinámica planteada. De esta forma, en la gráfica 1 se observa el peso promedio de un pez durante un horizonte de tiempo de 800 días. Allí, se evidencia cómo el incremento de su peso en gramos

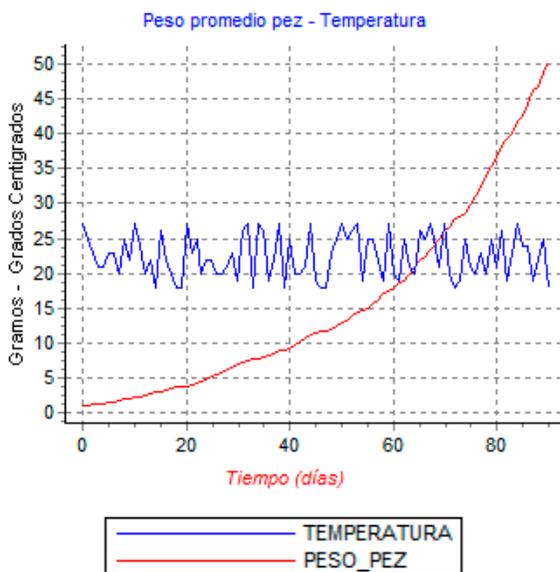
tiende a estabilizarle en el intervalo de tiempo 600-800. Esto, es coherente con el comportamiento que debe emerger del ciclo de realimentación negativa 1. Dentro del cual, cuando el peso del pez alcanza la máxima cobertura (peso máximo que puede obtener – aproximadamente 800 gramos) su crecimiento tiende a estabilizarse. Lo anterior, debido a que gran parte del alimento consumido por él en el intervalo de tiempo 600-800, deja de destinarse para el aumento de su biomasa

(su fracción de conversión tiende a ser mínima), y así, la ración alimentaria solo se utiliza en el mantenimiento de su organismo (mantenimiento de funciones vitales).



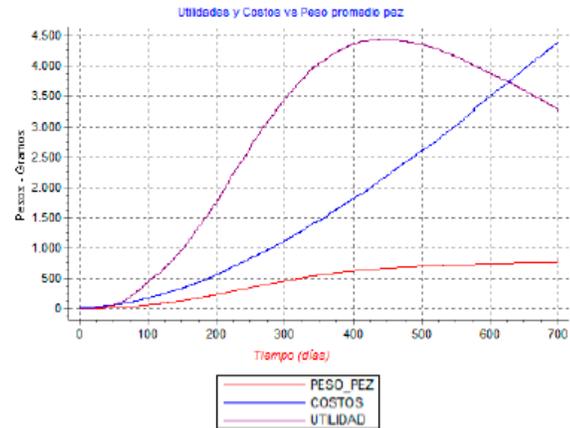
Gráfica 1. Peso promedio pez

De igual forma, cabe resaltar la influencia que factores físicos externos como temperatura (variaciones entre 18 y 30 grados centígrados en función de las condiciones geográficas donde se encuentra el estanque) tienen sobre la cantidad de alimento que el pez consume de la ración alimentaria diaria. Lo anterior puede observarse en la Gráfica 2.



Gráfica 2. Peso promedio pez - Temperatura

Acorde a la Gráfica 2, el peso promedio del pez (línea roja) tiende a estabilizarse en determinados momentos del horizonte de tiempo (90 días). Esto ocurre, cuando las variaciones de la temperatura son extremas (bien sean temperaturas muy bajas o muy altas) y en consecuencia, el pez promedio bajo estas condiciones no consume alimento. Lo cual, conduce a que su peso se estabilice momentáneamente en tales ocasiones.



Gráfica 3. Costos y utilidades con respecto al crecimiento en gramos de un pez promedio.

De igual forma, a partir de la hipótesis dinámica planteada y el modelo construido, es posible discutir el elemento económico del sistema productivo como se observa en la Gráfica 3. Allí, se hace referencia a los costos y utilidades para un pez promedio. Durante los primeros 300 días de simulación, el peso del pez incrementa ya que su tasa de conversión de alimento a carne es máxima. Con ello, la utilidad expresada como pesos por gramo de peso incrementa a medida que el pez sigue aumentando su peso. Sin embargo, aproximadamente en el día 600 cuando el pez ha alcanzado su peso máximo y la tasa de conversión de igual forma es máxima, la utilidad empieza a disminuir. Esto, debido a que el pez sigue requiriendo alimento para su supervivencia, lo cual, implica que los costos para compra de comida y mantenimiento del estanque sigan incrementando. Es en este punto, donde las utilidades caen por debajo de los costos. En consecuencia, a partir de esta comparación utilidad-costo el productor puede determinar cuáles son los momentos más indicados para sacar a la venta la producción de peces.

Finalmente, es importante señalar cómo los comportamientos observados en las gráficas corresponden con las observaciones y explicaciones que expertos en nutrición animal han aportado al presente trabajo. Los cuales, se han involucrado de forma directa en la construcción y validación de la hipótesis dinámica que soporta el modelo dinámico sistémico.

## V. CONCLUSIONES

Los autores de este trabajo concluyen que la dinámica de sistemas es una herramienta útil para abordar la

gestión de sistemas de piscicultura. Ya que apoya al productor en la toma de decisiones argumentada a partir de simulaciones realizadas por el modelo dinámico. Lo cual, le permite experimentar de forma iterativa con el sistema de información para evaluar posibles escenarios futuros para verificar la pertinencia de acciones que se deseen tomar sobre el cultivo de los peces.

De igual forma, el modelo construido se convierte en un útil para el productor que le permite lidiar con la complejidad subyacente al cultivo de peces. Ya que el modelo es construido a partir de una hipótesis dinámica donde elementos bioquímicos, físicos y económicos se relacionan entre sí, a través de influencias mutuas que conducen a la formación de influencias circulares. Esto favorece entonces, un proceso incremental de aprendizaje donde el productor entiende como posibles acciones sobre determinado elemento del estanque, puede repercutir sobre diferentes otros elementos vinculados al sistema productivo.

Finalmente, los autores plantean que el uso de herramientas tecnológicas soportadas en dinámica de sistemas permite incrementar la productividad de estos sistemas productivos. Debido a que el modelo dinámico sistémico que soporta el funcionamiento de la herramienta tecnológica, complementa la racionalidad limitada del productor. Esto es posible a través de simulaciones con el modelo, donde el productor puede plantear futuros probables basados en diferentes condiciones presentes del estanque de peces, para hacerse preguntas del tipo "¿Qué pasaría con la producción si...?". De esta forma, sus decisiones serán completamente informadas utilizando el conocimiento que puede construir en su constante interacción con el modelo.

## REFERENCIAS

- [1] O. F. El-Gayar y P. Leung. "A multiple criteria decision making framework for regional aquaculture development". *European Journal of Operational Research*, vol. 133, no. 3, pp. 462-482, 2001.
- [2] I. Halachmi, Y. Simon, R. Guetta, y E. M. Hallerman. "A novel computer simulation model for design and management of re-circulating aquaculture systems". *Aquacultural Engineering*, vol. 32, pp. 443-464, 2005.
- [3] O. F. El-Gayar y P. Leung. "ADDSS: a tool for regional aquaculture development". *Aquacultural Engineering*, vol. 23, pp. 181-202, 2000.

[4] R. Moccia y G. Reid. "Aquaculture sustainability: Developing concepts of a decision support tool for licensing freshwater cage aquaculture in Ontario, Canada". *Bulletin of Aquaculture Association of Canada*, vol. 12, pp. 106-114., 2007.

[5] J. Bolte, S. Nath, y D. Ernst. "Development of decision support tools for aquaculture: the POND Experience". *Aquacultural Engineering*, vol. 23, pp. 103-119, 2000.

[6] D. H. Ernst, J. P. Bolte, y S. S. Nath. "Aquafarm: simulation and decision support for aquaculture facility design and management planning". *Aquacultural Engineering*, vol. 23, pp. 121-179, 2000.

[7] Andrade, H.; Maestre, G.; Castro, J.; Zambrano, M. 10° Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas I Congreso Argentino de Dinámica de Sistemas.

[8] Andrade, Hugo et al. *Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de Unidad*. Página 23, 24, 235. Ediciones Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2001.

## AUTORES



**JUAN SEBASTIÁN ANGARITA ZAPATA.** Ingeniero de sistemas graduado de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y estudiante de maestría (UIS). Investigador en el área de modelado matemático y simulación de enfoque estructural con dinámica de sistemas. Autor de publicaciones en eventos de orden nacional e internacional en áreas de transporte urbano, medio ambiente, sistemas productivos y educación abordadas desde el pensamiento sistémico y dinámica de sistemas. Actualmente, se encuentra vinculado como investigador activo al Grupo SIMON de investigación (UIS).



**HUGO HERNANDO ANDRADE SOSA.** Profesor titular laureado de la Universidad Industrial de Santander UIS, en el área de pensamiento sistémico y modelado matemático y simulación de enfoque estructural. Investigador, coinvestigador y director de más de cien tesis y trabajos de grado a nivel de magister, especialización y pregrado, así como autor de más de setenta publicaciones en diferentes eventos y medios de orden nacional e internacional, en relación con los fundamentos y la aplicación del pensamiento sistémico y en particular en modelado y simulación con

dinámica de sistemas y modelado basado en objetos y reglas. Es el director y fundador del Grupo SIMON de investigación (UIS), miembro de la System Dynamics Society, y miembro de la comunidad colombiana y latinoamericana de Dinámica de Sistemas



**CARLOS ANIBAL VÁSQUEZ CARDOZO.** Médico Veterinario Zootecnista de la Universidad de Caldas, especialista en docencia universitaria de la Universidad

Industrial de Santander, Magíster en Sistemas de Producción animal. Con años de experiencia en el ofrecimiento de programas a distancia. Actualmente se desempeña como coordinador del Programa Agroindustrial por ciclos propedeuticos del Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia (IPRED), sede Bucaramanga.

### 13. MICROMUNDO MATIB 1.0 COMO HERRAMIENTA DE APOYO AL PROCESO DE APRENDIZAJE DE LAS MATEMÁTICAS PARA LA EDUCACIÓN PREESCOLAR

**CRISTIAN ANTONIO MARTÍNEZ FONSECA, LUIS MANUEL MESA MENDIVELSO, ABDÍAS GÓMEZ DUARTE**

Fundación Universitaria de San Gil- UNISANGIL  
Facultad de Ciencias e Ingeniería - Ingeniería de Sistemas  
Yopal, Colombia  
darkcamo8@gmail.com, manuelpacomesa@gmail.com, agomez@unisangil.edu.co

#### RESUMEN

El siguiente documento presenta el desarrollo de un Micromundo como herramienta de apoyo al proceso aprendizaje de las matemáticas para la educación preescolar de acuerdo a los lineamientos del Ministerio de Educación Nacional para dicho nivel, aplicando la metodología clásica de desarrollo software y siguiendo en enfoque de dinámicas de Sistemas.

**PALABRAS CLAVE:** Aprendizaje, Enseñanza, Metodología, Micro Mundo.

#### ABSTRACT

The following paper presents the development of a Microworld as a tool to support the learning process of mathematics for preschool education according to the guidelines of the Ministerio de Educación Nacional for that level, applying the classic software development methodology and approach followed in dynamics Systems.

**KEYWORDS:** Learning, Teaching, Methodology, Microworld.

#### I. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se aborda el diseño y desarrollo de un ambiente software como herramienta de apoyo al proceso de aprendizaje de las matemáticas para la educación preescolar, aplicando la metodología clásica de desarrollo software y siguiendo el enfoque de la dinámica de sistemas como estrategia para comprender la problemática y dar paso al estableciendo los requisitos del sistema mediante el análisis y la validación de los requerimientos.

Para el desarrollo de esta herramienta, se consideró la construcción de un Micromundo, como entorno virtual de aprendizaje, que cumpla con los estándares y requisitos establecidos por del MEN (Ministerio de Educación Nacional). Fue desarrollado a partir de diseños de interfaces en Adobe -Photoshop con el fin de permitir la respectiva programación en Adobe – Flahs,

de cada uno de los escenarios de aprendizaje que permitirán la interacción del usuario con la aplicación. Para el proceso desarrollo del software se utilizó el modelo más antiguo y ampliamente utilizado en la ingeniería de software, el modelo lineal secuencial creado entre los años 1960 y 1980 por Winston Royce. Este modelo se compone por una secuencia de cuatro fases, (análisis, diseño, implementación y pruebas).

Como resultado de este trabajo resulta una aplicación, con interfaces intuitivas y amigables que sin lugar a dudas su utilización como herramienta de apoyo para el aprendizaje de las matemáticas en niños de preescolar, puede contribuir a la la formación de las competencias en matemáticas dadas por el MEN para este nivel de educación.

## II. PROBLEMÁTICA

La educación formal en Colombia se divide en cuatro niveles: la educación preescolar, educación básica, educación media y universitaria. La educación preescolar tiene como reto optimizar el proceso de formación y desarrollo de los niños y niñas de 0 a 6 años, buscando una buena preparación para el resto de su escolarización; en este sentido, el siguiente paso sería la educación básica. Es por esto que se le ha dado gran relevancia e importancia a esta educación, debido a que los primeros años de vida de las personas son fundamentales para la formación de la inteligencia y el desarrollo cognitivo, psicomotor, emocional y social.

Se considera fundamental que todo niño colombiano pase por la educación preescolar; por tal razón La Constitución Política de 1991 estableció la obligatoriedad de la educación entre los 5 y los 15 años de edad, que corresponde a la educación preescolar y la básica. Como también, la Ley 115 de 1994 (Ley General de Educación) describe la educación preescolar como aquella que se “ofrece al niño para su desarrollo integral en los aspectos biológico, cognoscitivo, psicomotriz, socio-afectivo y espiritual, a través de experiencias de socialización pedagógicas y recreativas”. El estado posteriormente decretó que en este nivel de educación ningún estudiante reprueba grados o actividades, ya que se parte del principio de que los niños avanzarán en el proceso educativo según sus capacidades y aptitudes personales. Por tal razón se ha visto la necesidad de tomar medidas en las metodologías aplicadas en la enseñanza de cada una de las dimensiones de aprendizaje en la educación preescolar para lograr los mejores resultados en la escolarización de cada estudiante.

Inicialmente los resultados de este nivel de educación se miden mediante las Pruebas Saber que se realizan a los estudiantes de los grados 5° y 9°. De acuerdo con los resultados publicados por el ICFES para el 2014 en el área de Matemáticas [1], se observa que a nivel nacional el 42% de los estudiantes que presentaron la prueba obtuvo un nivel de desempeño insuficiente; en este mismo sentido, el 36% de los estudiantes obtuvo desempeño insuficiente. En ambos casos en el nivel avanzado se ubica menos del 13% de los estudiantes.

Por otra parte, aún se observa que en las aulas de un gran número de las instituciones educativas del país predominan las prácticas tradicionales de enseñanza, dejando a un lado las posibilidades que brindan el uso

de las nuevas tecnologías de la información en el aula. Con el propósito de indagar en el contexto real de las prácticas y metodologías utilizadas por los docentes en el área de las matemáticas en el municipio de Yopal, para la formulación de esta propuesta, se formuló y aplicó una encuesta que aborda dimensiones como el conocimiento por parte de los docentes de la existencia de herramientas tecnológicas de apoyo en el aprendizaje hasta su uso en el aula.

Como resultado de esta indagación se realizaron los siguientes hallazgos: en las instituciones oficiales encuestadas para los grados de transición en el área de Matemáticas no se cuenta con profesores especializados; disponen para su enseñanza el 19,33% de las horas semanales, realizando actividades diferentes al uso del tablero pero las clases siempre son dictadas en las aulas tradicionales. Por su parte, las instituciones no oficiales dicen utilizar el 22% de las horas semanales para la enseñanza de las Matemáticas y de las actividades el 80% son diferentes al uso del tablero.

Todas las instituciones encuestadas cuentan con aulas de informática; en las públicas las visitan en promedio una vez por semana, el 80% de ellas disponen de una computadora por cada dos estudiantes en la clase, y el 20% restante deben trabajar más de dos estudiantes por computadora. También, el 40% de los docentes indagados de instituciones públicas, dicen implementar una o dos veces por mes actividades apoyadas en computadoras para el aprendizaje de las matemáticas, un 40% una o dos veces por año y un 20% ninguna.

En las instituciones no oficiales se puede observar otro panorama con respecto al uso de las Tecnologías Informáticas, puesto que además de contar con aulas con computadores, el 100% de las encuestadas disponen de una computadora por estudiante y es visitada aproximadamente 2 veces por semana. El 60% implementan una o dos veces por semana actividades apoyadas en computadoras para el aprendizaje de las matemáticas, un 40% una o dos veces por mes y un 20% ninguna.

Por otra parte, se puede detallar que los docentes encuestados no conocen de algún tipo de software educativo para la enseñanza de las matemáticas, por lo tanto nunca lo han aplicado en sus clases como una herramienta más. Pero un 20% de estos docentes tanto de las instituciones oficiales como no oficiales conocen

de uno o más proyectos por parte del gobierno que estimule el uso de nuevas herramientas tecnológicas.

Por otra parte, también se preguntó a los docentes ¿cree usted que el uso de nuevas herramientas tecnológicas como software educativo facilitan el aprendizaje de las matemáticas en los niños de transición? en las instituciones oficiales el 100% si cree en la ayuda de estas herramientas pero en las no oficiales tan solo un 60% está de acuerdo.

En procura de mejores resultados las instituciones educativas del país deben considerar importante el apoyo de las nuevas soluciones que ofrecen las Tecnologías Informáticas hoy en día para la enseñanza de las matemáticas. Cabe destacar que la incorporación de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) al igual que las Tecnologías Informáticas al aula es uno de los objetivos importantes que se ha trazado el MEN dentro del nuevo plan decenal de educación para favorecer los procesos de aprendizaje en la enseñanza.

### III. METODOLOGIA Y DESARROLLO

Se aplica una metodología clásica para el desarrollo de MATIB 1.0, siguiendo de forma secuencial cuatro fases: Análisis, Diseño, Implementación y pruebas.

#### A. Exploración y Análisis

De acuerdo a lo mencionado por Pressman, "El modelo lineal secuencial sugiere un enfoque sistemático secuencial, para el desarrollo del software que comienza en un nivel de sistemas y progresa con el análisis, diseño, codificación, pruebas y mantenimiento [2]".

En esta fase, para comprender el sistema, en este caso asociado a la educación preescolar, y con el propósito de observar las relaciones de causalidad que lo estructuran, se aplicó el enfoque de la dinámica de sistemas. La figura 1, hace notar la influencia de la toma de decisiones sobre la situación analizada.

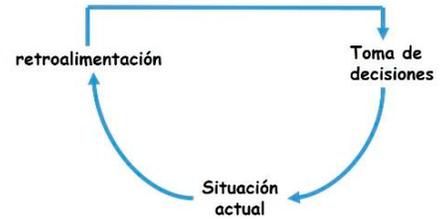


Figura 1. Causalidad situación observada y decisiones tomadas

Lo anterior sugiere tener en cuenta tres elementos que hacen parte del sustento de la calidad de un sistema educativo. En la figura 2, se observa que los recursos juegan un papel importante como elemento mediador para el aprendizaje.

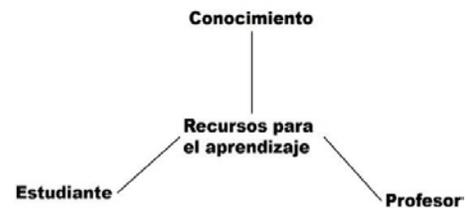


Figura 2. Recursos para el aprendizaje como elemento mediador.

En este sentido, el desarrollo de contenidos y herramientas que puedan ser utilizadas para favorecer el aprendizaje, es una acción de mejora dentro de la toma de decisiones; lo anterior, puede modificar el comportamiento del sistema, tal como lo ilustra la figura 3. De esta manera, se considera el desarrollo de estrategias y herramientas no tradicionales como un aporte y apoyo al aprendizaje de las matemáticas en la educación preescolar, con el objeto de favorecer e implementar acciones que modifiquen la situación actual del sistema.

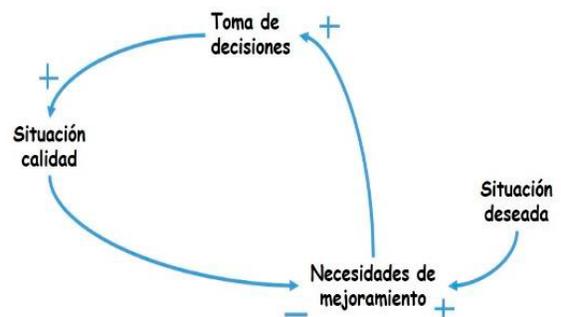


Figura 3. Situación deseada versus situación actual.

En la figura 3, se observa un bucle de realimentación negativo, que ilustra la causalidad entre las variables; si aumentan las expectativas respecto a la situación deseada, se incrementan las necesidades de mejoramiento; y cuando crecen las necesidades de mejoras se debe incrementar la toma de decisiones, lo cual impacta de forma positiva la situación actual real del sistema, disminuyendo las necesidades de mejoramiento, lo cual cierra el ciclo de realimentación.

Con base en lo descrito anteriormente, se toma la decisión de desarrollar un Micromundo como parte de la intervención del sistema, mediante la variable “recursos para el aprendizaje”. De esta manera, se da paso a la captura de los requerimientos.

Ian Sommerville, haciendo referencia a la determinación de los requisitos dice “Los requerimientos para un sistema, son la descripción de los servicios proporcionados por el sistema y sus restricciones. Estos requerimientos reflejan las necesidades de los clientes de un sistema que ayude a resolver algún problema [3]”.

De esta manera se define que el Micromundo, será implementado mediante escenarios que permitan desarrollar habilidades en pensamiento métrico, pensamiento geométrico y pensamiento numérico. La figura 4, corresponde al primer nivel de abstracción de casos de uso que desde la vista funcional presentan los cinco escenarios que estructuran la aplicación.

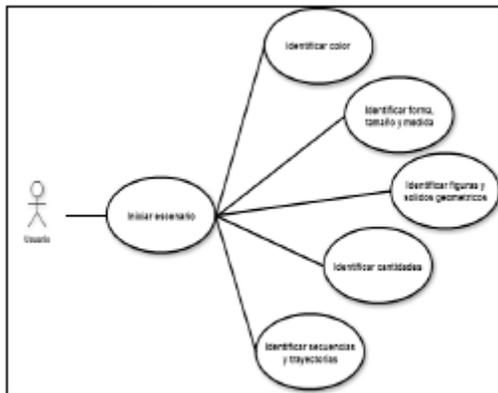


Figura 4. Casos de uso primer nivel de abstracción.

## B. Diseño e implementación

Antes de dar inicio a la implementación, es necesario construir planos o un diseño que sirva de guía para llegar a la construcción final del proyecto gracias a los requerimientos especificados y validados en la fase anterior.

Para cada uno de los escenarios definidos en la fase anterior, se establecieron los siguientes requerimientos funcionales:

Tabla 1. Tabla de requerimientos funcionales

1	Comparar colores y formas semejantes	17	Diferenciar pesos
2	Comparar tamaños	18	Comparar objetos livianos y pesados
3	Relacionar objetos con figuras geométricas	19	Reconocer las figuras geométricas básicas
4	Pintar figuras geométricas	20	Reconocer sólidos geométricos rombo y ovalo
5	Distinguir tamaños	21	Pintar y reconocer figuras geométricas
6	Relacionar tamaños alto – bajo	22	Diferenciar objetos con formas de sólidos geométricos.
7	Relacionar magnitudes gordo – flaco	23	Reconocer sólidos geométricos.
8	Relacionar dimensiones grueso – delgado	24	Distinguir entre muchos y pocos
9	Relacionar dimensiones ancho – angosto	25	Diferenciar entre muchos o pocos
10	Pintar con colores primarios	26	Ordenar secuencia “etapas de la vida”
11	Mezclar colores	27	Seguir secuencia de colores
12	Pintar con colores secundarios	28	Seguir secuencia
13	Clasificar objetos por colores secundarios	29	Encontrar el camino más corto
14	Relacionar colores primarios y secundarios	30	Trazar caminos
15	Encontrar el camino correcto		

Esta línea de requerimientos establece el camino para la implementación mediante plantillas de requerimientos, diagramas de casos de uso, diagramas de secuencia que dan forma a la vista funcional del sistema. La figura 5, ilustra un ejemplo del modelo de secuencia para el caso de uso comparar colores y formas.

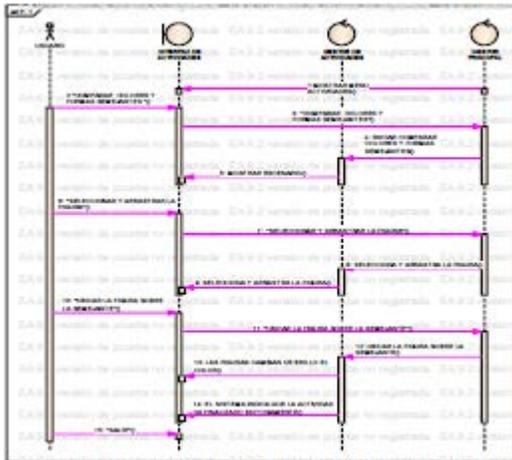


Figura 5. Diagrama de secuencia, caso de uso "comparar colores y formas".

### C. RESULTADOS

Como resultado de esta primera etapa se tiene un Micromundo como herramienta de apoyo al aprendizaje de las matemáticas dirigido especialmente a niños en edad preescolar.

La figura 6, corresponde a la ventana principal de MATIB, que tiene las entradas a los cinco escenarios, correspondientes a Identificar Colores, Formas Tamaños y medidas, Figuras y sólidos geométricos, cantidades y secuencias y trayectorias.

El jugador puede seleccionar cualquiera de los diferentes escenarios e ingresar a realizar los retos, juegos y competencias que tiene cada uno de ellos; cabe anotar que cada escenario cuenta con siete actividades diferentes, que permitirán al niño desarrollar su pensamiento, destrezas y habilidades matemáticas.



Figura 6. Ventana principal Micromundo MATIB 1.0

La figura 7, muestra la ventana inicial del escenario Formas, tamaños y medidas.

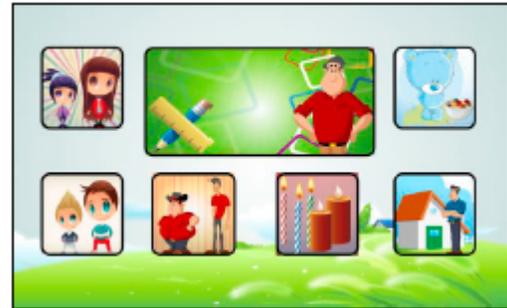


Figura 7. Escenario Formas, tamaños y medidas.

Queda ahora como ejercicio, realizar un estudio que permita observar y cuantificar el impacto del uso de esta herramienta en estudiantes de educación preescolar en cuanto a la formación de competencias en pensamiento matemático.

### REFERENCIAS

- [1] Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación. ICFES. {En línea}. {Citado 14 enero de 2014} Disponible en: [www.http://www2.icfesinteractivo.gov.co/ReportesSaber359/consultaReporteEntidadTerritorial.aspx/](http://www2.icfesinteractivo.gov.co/ReportesSaber359/consultaReporteEntidadTerritorial.aspx/).
- [2] R. S Pressman. Ingeniería del Software un enfoque práctico. 5ª Edición. McGraw –Hill.2002. Madrid.
- [3] Ian, Sommer. Ingeniería del Software. 7ª Edición. Pearson Educación S.A. Ribera de Loira. Madrid España



## 15. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA FINANCIERA Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DEL SISTEMA GENERAL DE SEGURIDAD SOCIAL EN SALUD PARA EL RÉGIMEN SUBSIDIADO Y CONTRIBUTIVO EN BOGOTÁ A TRAVÉS DE DINÁMICA DE SISTEMAS

**DIEGO ALEJANDRO DÍAZ, LAURA MARCELA RUIZ GALÁN**

Estudiante de Ingeniería Industrial  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Bogotá.  
Dialejo57@gmail.com, lauruiizgalan@hotmail.com

**MSC. FEIZAR JAVIER RUEDA VELASCO**

Ingeniería Industrial - Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Bogotá  
Grupo de Investigación en Modelos Matemáticos Aplicados a la Industria  
fjrueav@udistrital.edu.co

### RESUMEN

Colombia en la búsqueda de adoptar las medidas necesarias para proteger el derecho a la salud creó el Sistema General de Seguridad Social en Salud, SGSSS, a través de la ley 100 de 1993, con la cual se pretende brindar, a partir de este momento, el desarrollo sostenible de la población, al garantizar su bienestar físico y mental. Sin embargo través de la historia del SGSSS se han venido manifestando problemas y falencias graves, que ponen en crisis el sistema y dejan en entredicho el correcto funcionamiento del mismo. Este artículo pretende describir la relación causal que se presenta entre cada uno de los componentes del sistema y la construcción de un modelo matemático que permita evidenciar los motivos por los que se presentan problemas como los recobros, endeudamiento con las IPS, problemas en la calidad de la prestación del servicio, entre otros.

### ABSTRACT

Colombia in the search of adopting the necessary measures to protect the right of health created the General System of Social security in Health, SGSSS by means of the law 100 of 1993, which tries to offer, from this moment, the sustainable development of the population, on having guaranteed its physical and mental well-being. Nevertheless across of the history of the SGSSS they have been showing problems and serious bankruptcies, which put in crisis the system and leave in doubt the correct functioning of the same one. This article tries to describe the causal relation that appears between each of the components of the system and the construction of a mathematical model that allows to demonstrate the motives for which problems present themselves as the recoveries, indebtedness with the IPS, problems in the quality of the service, between others.

**KEY WORDS:** Health Systems, System dynamics

### I. INTRODUCCIÓN

Apartir de la definición propia de sistemas, se puede ver al Sistema de Salud como un sistema artificial creado por el hombre, para tratar de organizar la realidad de tal forma que se optimicen los recursos para el mantenimiento de la salud de la población [1] definida

por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como «salud no es sólo la ausencia de enfermedad, sino también es el estado de bienestar somático, psicológico y social del individuo y de la colectividad». [2]

Un sistema de salud abarca todas las actividades cuya finalidad principal es promover restablecer o mantener

la salud [3], es la suma de todas las organizaciones, instituciones y recursos que tienen como objetivo principal llevar a cabo actividades encaminadas a mejorar la salud. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, las cuatro funciones principales de un sistema de salud se han definido como: la provisión de servicios, la generación de recursos, la financiación y la gestión<sup>6</sup>.

De ahí, que sean tan importantes los sistemas de salud pública a nivel mundial, pues a través de sus políticas, estos afectan directa o indirectamente todos los aspectos de la vida cotidiana, las acciones, los comportamientos y las decisiones de los humanos, ya que pueden prohibir conductas que se perciban como riesgosas, alentar las que se consideren beneficiosas, impulsar ciertas actividades e incluso proporcionar beneficios directos a las personas necesitadas. [4]

La Constitución Colombiana de 1991 elevó a la Seguridad Social como un servicio público de carácter obligatorio, dentro de la cual la atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado [5], junto con un conjunto de reformas estructurales tendientes a la privatización de algunas empresas del Estado, en combinación con la creación de incentivos de mercado para la competencia en la prestación de servicios sociales como la salud, inspiraron la concepción del esquema de competencia regulada que se instauró en Colombia a partir de la Ley 100 de 1993.[6]

La Ley 100 de 1993 promovió la participación de los agentes privados en el aseguramiento y la provisión de servicios de salud bajo un esquema de solidaridad en la financiación del aseguramiento para los más pobres, y determinó que el Sistema General de Seguridad Social en Salud colombiano quedara dividido en dos regímenes [6]:

- El primero, conocido como el régimen contributivo, vincula a los trabajadores formales, los trabajadores independientes con capacidad de pago, los pensionados y las familias de estos grupos; la financiación de la atención en salud para este régimen se realiza por medio contribuciones obligatorias efectuadas por los empleadores y los empleados o pensionados.
- El segundo régimen, denominado régimen subsidiado, vincula a la población pobre y

vulnerable que ha sido previamente identificada por el Estado y se financia con recursos de ingresos corrientes de la nación que se transfieren a los entes territoriales (Sistema General de Participaciones), los aportes recaudados en el régimen contributivo y otras fuentes de ley.

Las reformas conducentes a la creación del Sistema General de Seguridad Social en Salud a partir de la Ley 100 de 1993 han estado acompañadas de un proceso de descentralización administrativa en la gestión de los recursos y de una apertura para la participación de los agentes privados en la provisión del servicio público de salud.[7]

La nueva estructura adoptada en Colombia cubre a toda la población en un mismo esquema sin discriminación por estatus laboral, introduce mecanismos de solidaridad en el financiamiento y habilita la competencia al darle al ciudadano la libertad de elegir su Empresa prestadora de servicios de salud, EPS, la cual se encarga de administrar el servicio de salud. Este cambio trajo grandes retos institucionales dentro de los que destacan el cambio organizacional de los hospitales y aseguradores públicos para operar en un entorno de competencia, y la necesidad desarrollar una mayor capacidad regulatoria y de supervisión por parte del Estado.

A partir de 2007 el Sistema General de Seguridad Social nuevamente es objeto de modificaciones legales tanto en la estructura institucional como en definiciones de aspectos tan concretos como el contenido del Plan Obligatorio de Salud, POS, los montos de la Unidad de Pago por Capitación, UPC, la comisión de regulación y la integración vertical entre Entidades Promotoras de Salud, EPS, e Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud, IPS, así como el establecimiento de nuevas fuentes de recursos para lograr la universalidad e igualar los planes de beneficios entre regímenes. [8]

Sin embargo, pese a que el objetivo principal de un sistema de salud es llevar a cabo actividades encaminadas a mejorar la salud, proporcionando buenos tratamientos y servicios que respondan a las necesidades de la población y sean justos desde el punto de vista financiero, en el Sistema General de Seguridad Social se han venido presentando problemas que lo tienen en crisis.

<sup>6</sup> [http://www.who.int/topics/health\\_systems/es/](http://www.who.int/topics/health_systems/es/)

En la política nacional de prestación de servicios de salud, promulgada por el Ministerio de la Protección Social, se encuentra que la problemática presentada puede clasificarse en dos grupos, los problemas acumulados y los problemas emergentes. Los problemas acumulados corresponden a situaciones que aún, antes del nuevo sistema de seguridad social se identificaron y continúan vigentes, destacando desde un enfoque financiero y de calidad, se encuentran los siguientes: [9].

- A. Las instituciones públicas aún no han resuelto el pasivo prestacional en cuanto a clarificar la magnitud y establecer las posibilidades de financiación. Esto pone en riesgo la sostenibilidad y la viabilidad de las instituciones del sector público.
- B. Las juntas directivas no ejercen el rol de direccionamiento y evaluación, y los gerentes han dejado de lado la calidad de la gestión clínica y del talento humano.

Por otro lado, los problemas emergentes, se presentan como consecuencia de las nuevas condiciones del sistema de salud colombiano, los cambios político-administrativos de los últimos años o por las modificaciones en la situación de salud de la población. Desde un enfoque financiero y de calidad, el problema que se presenta es que la información sobre la calidad de los servicios es incipiente y no existen mecanismos ni canales para determinar y divulgar la situación de la calidad de los servicios. [9]

Adicional a los problemas descritos en la política nacional de prestación de servicios de salud, se ha encontrado recientemente, que las EPS, se han limitado a funcionar como intermediadoras financieras, dejando de lado el generar una conciencia de aseguramiento entre sus afiliados y el personal de salud.[10]

Además algunas EPS limitan el flujo de recursos en vez de facilitarlo, demoran el pago a las Instituciones Prestadoras de Servicios, IPS, establecen contratos con ellas que no garantizan la integralidad en el sistema o limitan el acceso de la población a los servicios. Lo anterior se debe a que en estos casos no contratan la atención de los distintos niveles de complejidad a una distancia favorable para el paciente, sino que favorecen la contratación de instituciones prestadoras de salud que son de su propiedad o con las que tienen convenios. [10]

La acción de tutela es el recurso por el cual los usuarios del sistema de salud hacen cumplir sus derechos fundamentales en caso de que estos se presenten vulnerados [11], por lo tanto, el aumento progresivo de tutelas, demandas, quejas y reclamos, evidencian el efecto negativo que tiene la relación dominante de las EPS ante las IPS, sobre la calidad del servicio. De acuerdo con un informe de la Federación Nacional de Personeros revelado en mayo de 2013, solo en el primer trimestre del 2013 se reportaron 1.018 acciones de tutela y 184 incidentes de desacato para este fin. En 2012 fueron 12.179 tutelas y 2.607 desacatos. De acuerdo con datos de la Federación Médica Colombiana, para 2012, solo en Bogotá, la Secretaría de Salud tramitó más de 3.400 tutelas relacionadas con el servicio de salud que incluyen, entre otros, servicios de enfermedades de alto costo y procedimientos no cubiertos en el Plan Obligatorio de Salud, POS.[12]

En una investigación sobre el Seguimiento a las finanzas del sistema general de seguridad social en salud, solicitada por la Procuraduría General de la Nación en el 2012, se encontró que uno de los aspectos que llevó a la declaratoria de emergencia social fue la poca liquidez de las EPS y las IPS por la evolución de los recobros de las EPS, debido a que estos recobros se encargaron de absorber fondos monetarios que pudieron ser utilizados para el saneamiento de deudas para atender los servicios solicitados por medio de la acción de tutela. Ante los problemas presentados con los recobros se plantean varias hipótesis y las que competen a esta investigación, según [13], son:

- No se ha presentado una adecuada actualización de los planes de beneficios, lo que ha generado una demanda creciente por parte de los usuarios a eventos y medicamentos no POS;
- Los aseguradores han acudido a la cuenta para financiar la prestación de los servicios de sus usuarios porque no se encuentra en equilibrio la Unidad de Pago por Capitación que reciben.

A través de la dinámica de sistemas han sido presentados algunos trabajos como [14] el cual analiza los desafíos que necesitan balancearse en el sistema para garantizar una calidad de vida sostenible, [15] se encarga de representar el crecimiento de los costos en el sistema de salud de Canadá, revisando cuales serían las mejores alternativas de inversión para lograr mejoras significativas en el sistema, y [16] revisa los desafíos en el incremento en la investigación de intervenciones médicas eficaces, analizando el diseño de difusión y entrega en el sistema de salud. En Colombia son

limitados los esfuerzos académicos por analizar el comportamiento del sistema y la crisis que se presenta, sin embargo encontramos trabajos como [17] el cual muestra la problemática que se presenta en las EPS las cuales concentran sus esfuerzos en la rentabilidad del sistema, dejando de lado la prestación de servicios de salud y la calidad de los mismos.

Por lo anterior el presente trabajo pretende a través de dinámica de sistemas modelar la estructura actual de financiación e intermediación que se presenta en el sistema de salud Colombiano y su influencia en la prestación de servicios; para el desarrollo de este artículo, se tendrá en cuenta la información pertinente a la ciudad de Bogotá, pues aquí se encuentra la mayor densidad de población en el país ya que tiene 4270 personas por Kilómetro cuadrado, contrastado con la densidad media a nivel nacional de 41,9 habitantes por kilómetro cuadrado; razón por cual la capital del país se convierte en la mejor muestra para evaluar las políticas públicas en salud se encuentra la mayor densidad de población en el país ya que tiene 4270 personas por Kilómetro cuadrado, contrastado con la densidad media a nivel nacional de 41,9 habitantes por kilómetro cuadrado; razón por cual la capital del país se convierte en la mejor muestra para evaluar las políticas públicas en salud. [18]

## II. DESCRIPCIÓN CAUSAL DEL SISTEMA

### I. Subsistema de afiliaciones

El Sistema General de Seguridad Social en Salud permite a los usuarios tomar la decisión sobre su afiliación o desafiación a una Entidad Promotora de Salud, acorde con su percepción de calidad del servicio prestado por la misma.

Estas EPS, se encuentran segregadas en dos tipos de acuerdo al tipo de régimen al cual pertenezcan, ya sea el Subsidiado o el Contributivo; sin embargo al interior de cada uno de estos regímenes, las EPS caen bajo una misma estructura de financiación del sistema, atrapando al usuario al interior de un mismo esquema de operaciones independientemente de sus decisiones de afiliación, tal como puede verse en la gráfica 1, en donde los usuarios desafiados se ven en la obligación de afiliarse de nuevo a una EPS en el mismo sistema. [19]

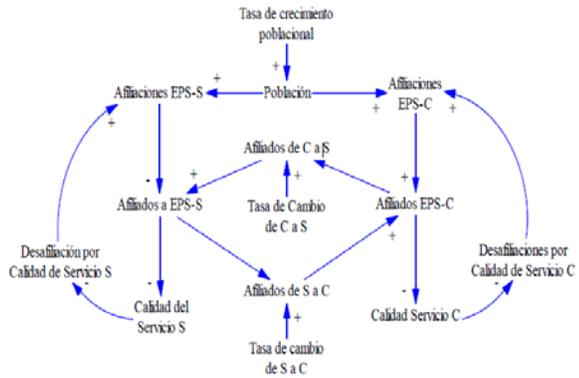


Figura1. Subsistema de afiliaciones a Entidades Prestadoras de Servicios de salud.

Sin embargo, cabe resaltar que por condiciones propias de cada usuario, se puede presentar el cambio entre regímenes, que se da con la adquisición o pérdida de capacidad de pago por parte de los usuarios, realizando los trámites necesarios estipulados por el Decreto 3047 del 27 de diciembre de 2013. [20]

### II. Subsistema de percepción de la calidad del servicio

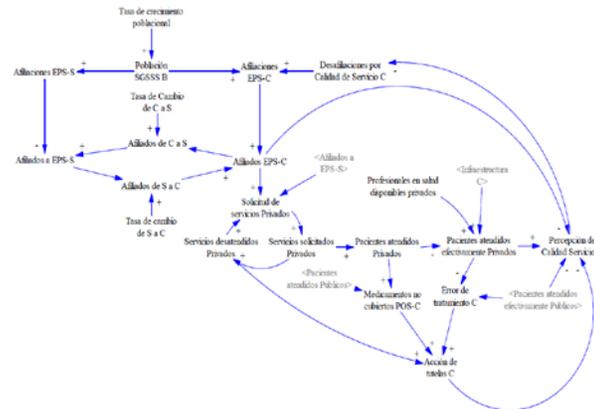


Figura 2. Subsistema percepción de la calidad del servicio Régimen Contributivo.



Participaciones y el dinero destinado por el Presupuesto General de la nación.

Los egresos de las cuentas del FOSYGA, principalmente se destinan al pago de la Unidad de pago por capitación (UPC), de ambos regímenes, a pagos directos a las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) privadas y públicas, y al pago de recobros generados por reclamaciones y tutelas por parte de los usuarios al no recibir adecuadamente la prestación del servicio de salud.

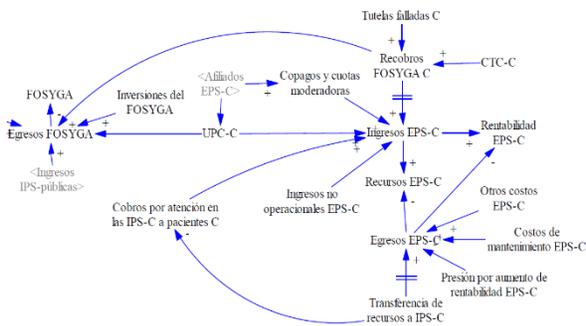


Figura 6. Diagrama causal subsistema financiero EPS Régimen Contributivo

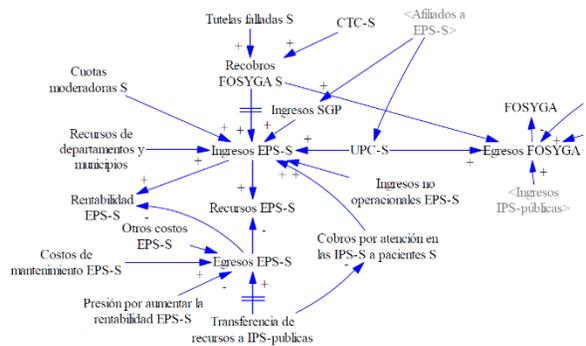


Figura 7. Diagrama causal subsistema financiero EPS Régimen Subsidiado

En las Figuras 6 y 7, se puede observar a las Empresas Promotoras de Salud (EPS), de los regímenes contributivo y subsidiado, sus ingresos se componen por los Recobros realizados al FOSYGA, los ingresos por UPC, los cuales dependen directamente de la población afiliada en la ciudad a cada régimen; los ingresos no operacionales, de las cuotas moderadoras y copagos.

Cabe resaltar que parte de los ingresos depende de la información recibida en los cobros realizados por las IPS al atender a los pacientes que hayan solicitado algún servicio de salud; esto con el fin de aumentar luego la transferencia de dinero que realizan las EPS a las IPS,

y estas últimas puedan cumplir con el pago de sus obligaciones.

Luego, se encuentran los egresos de las EPS que se encargan por un lado de cumplir con el pago de las deudas de las entidades, la transferencia de dinero a las IPS y servir de información para el cálculo de la rentabilidad del periodo, con la cual se puede generar reinversión en infraestructura para ampliar el cubrimiento del servicio de salud.

Al continuar con el siguiente eslabón del subsistema financiero, se encuentran las IPS públicas y privadas, poseen una serie de ingresos y egresos, dentro de los cuales cabe resaltar el Costo de Atención de los Pacientes del cual surge el cobro a las Entidades Promotoras de Servicios de Salud. Figuras 8 y 9.

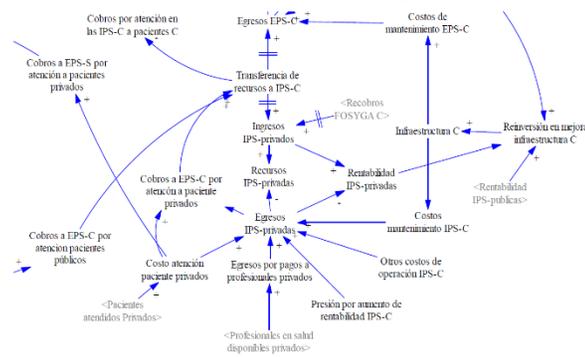


Figura 8. Diagrama causal subsistema financiero IPS Privadas

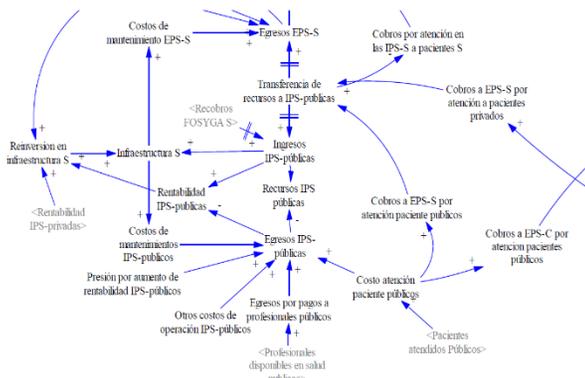


Figura 9. Diagrama causal subsistema financiero IPS Publicas

### III. METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta la caracterización del sistema General de Seguridad Social en Salud de Colombia, y apoyados en el desarrollo de los diagramas causales del mismo, se revisaron las redes de actividades de cada componente del SGSSS para proceder a la búsqueda



### III. Subsistema Financiero SGSS

El subsistema financiero inicia con los ingresos recibidos por el FOSYGA a través de las cuentas de solidaridad y compensación y se reúnen en el nivel denominado Recursos FOSYGA, del cual sus egresos se encargan de alimentar los ingresos de las EPS a través de los pagos por UPC y por los recobros realizados gracias a las tutelas falladas a favor de los demandantes.

Las EPS, además, perciben flujos de dinero por ingresos no operacionales, ingresos por UPC adicional y por recobros a entes territoriales que se acumulan en

los niveles llamados Recursos EPS, ya sea para las contributivas o subsidiadas; los recursos son utilizados para cubrir los egresos de la EPS y a su vez hacer envíos de dinero a las IPS por Pagos de servicios POS y por pagos de servicios No POS.

Por su parte, las IPS se encargan de recibir dinero a través de ingresos no operacionales y acumulan sus fondos para cumplir los gastos y costos en los que incurren para permanecer en funcionamiento, además claro los pagos por servicios atendidos que en caso de ser atenciones Pos, se convertirán en cobros a las EPS y en caso contrario en cobros a FOSYGA. Figura 13.

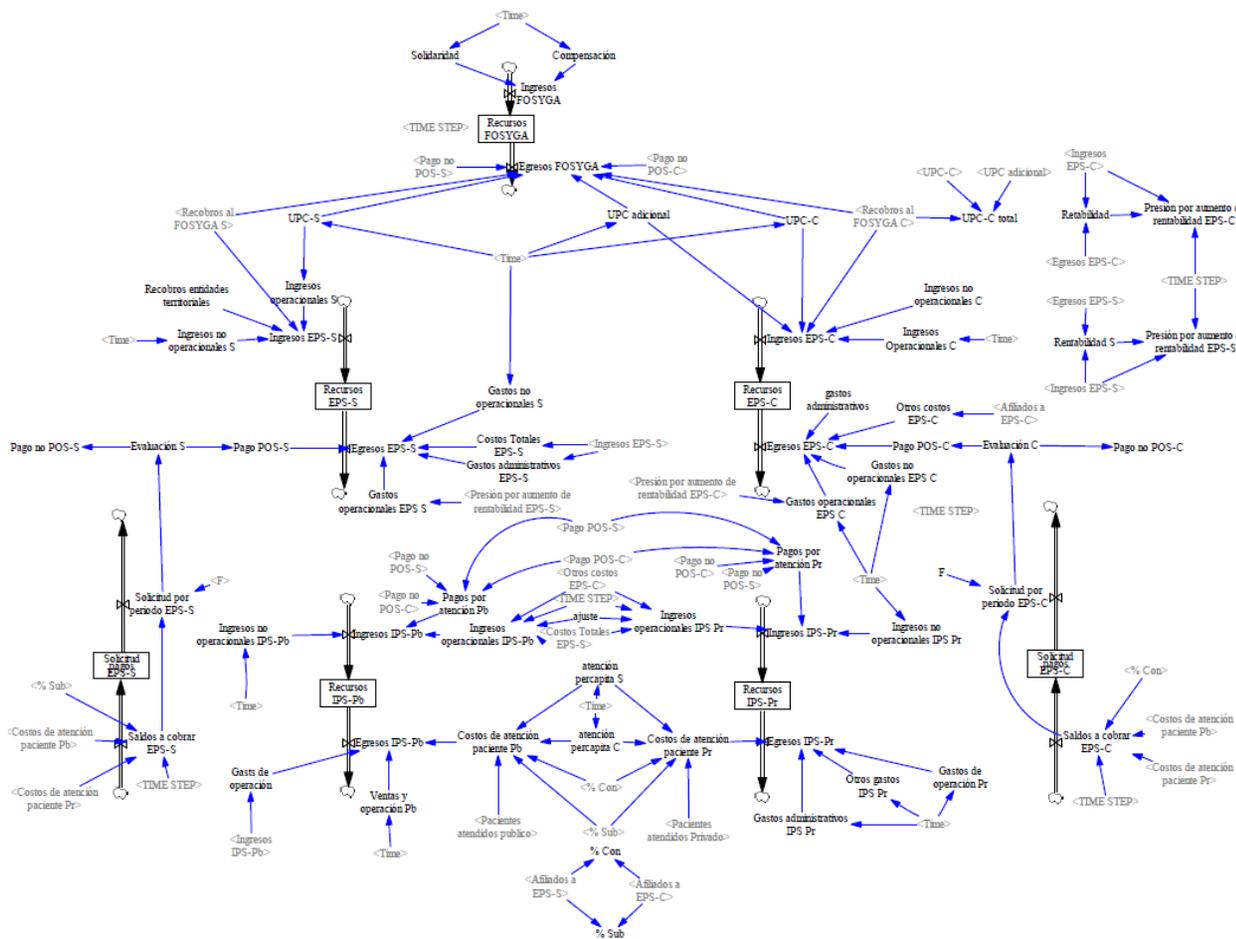


Figura 13. Diagrama Forrester Subsistema Financiero SGSS Bogotá

### V. RESULTADOS

Una vez ejecutado el modelo se obtuvieron los siguientes resultados que expresan el comportamiento general del SGSS:

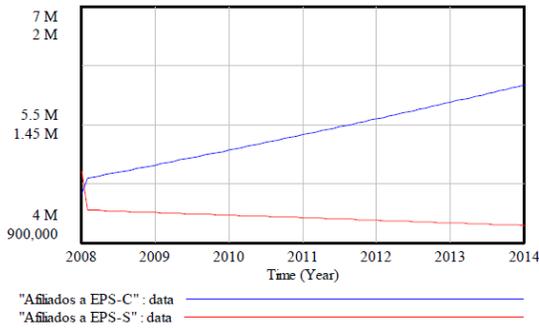


Figura 14. Afiliados al régimen contributivo y al régimen subsidiado del SGSSS

En la figura 14, se puede observar el aumento progresivo de los afiliados al régimen contributivo debido al incremento de la población o el traslado de usuarios del régimen subsidiado al contributivo.

Contrario al régimen contributivo, el régimen subsidiado muestra un decremento en su población afiliada debido a las políticas laborales propias de la ciudad que se han presentado en el periodo analizado, logrado aumento en el traslado de afiliados del régimen subsidiado al contributivo.

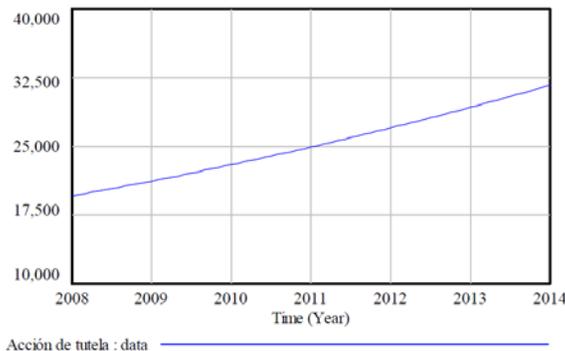


Figura 15. Acciones de tutela contra el SGSSS

Las tutelas impuestas contra el SGSSS tienen un comportamiento creciente en el transcurso de los años, causado por los incrementos en algunas de las razones para presentar reclamaciones por el servicio de salud, como son citas médicas, prótesis, tratamientos, otras relaciones y otros, donde las dos últimas hacen referencia a relaciones con especialistas, exámenes de diagnósticos no incluidos entre los paraclínicos y demás relaciones no contempladas entre las principales causas de la acción de tutela. Figura 15.

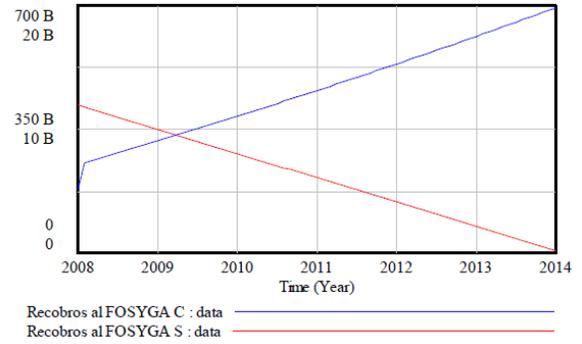


Figura 16. Recobros al FOSYGA

Los recobros presentados por el régimen Contributivo al FOSYGA se encuentran en incremento al estar directamente relacionados al incremento de los afiliados a las EPS contributivas, caso contrario a los recobros presentados al FOSYGA por el régimen Subsidiado, que se ven disminuir año tras año gracias al decremento de los afiliados a este régimen. Figura 16.

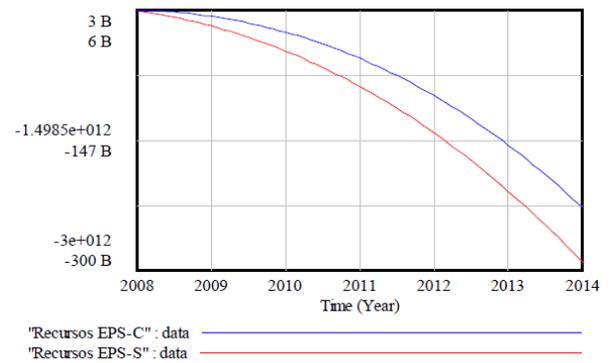


Figura 17. Recursos disponibles de las EPS subsidiadas y las EPS contributivas

En la figura 17, se ilustra el comportamiento de los recursos disponibles para las EPS contributivas y subsidiadas, ambas poseen un comportamiento deficitario causado por las falencias en la administración de los recursos, por tener deudas con proveedores e IPS, falta de pagos por recobros por parte del FOSYGA, entre otros y se suman al hecho de no percibir los recursos necesarios para cumplir con estas obligaciones que en algunas ocasiones no se encuentran directamente relacionadas con la prestación del servicio de salud a la población.

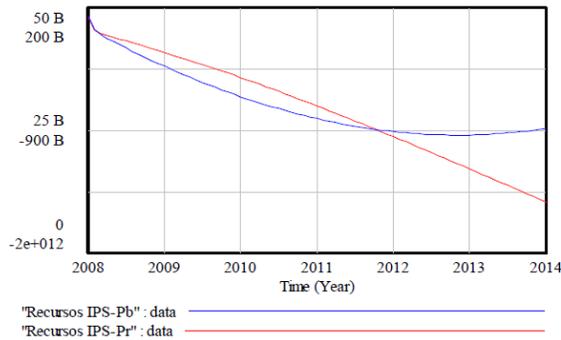


Figura 18. Recursos disponibles de las IPS públicas y las IPS privadas

Los recursos disponibles de las IPS públicas presentan un notorio comportamiento decreciente hasta el 2012, esto se debe a las políticas propias de la ciudad, durante este periodo, con las cuales se buscó el saneamiento fiscal de las IPS públicas, motivo por el cual a partir de este año tuvieron un comportamiento que tendía a mantenerse estable.

Las IPS Privadas presentan un comportamiento decreciente esto se debe a que los ingresos que perciben por los giros realizados por las EPS, son inferiores a los egresos que tienen por los costos de atención a los usuarios. Figura 18.

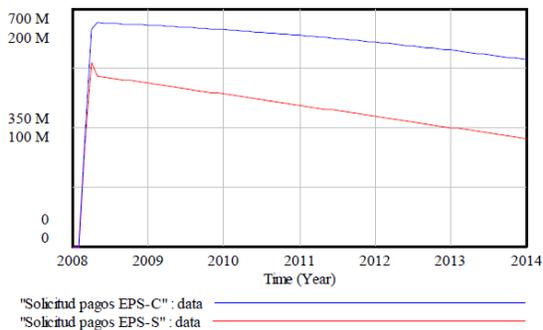


Figura 19. Solicitudes de pago de las IPS a las EPS subsidiadas y EPS contributivas.

El comportamiento de las solicitudes de pago por parte de las IPS a las EPS es el resultado de los cobros por servicio prestado a los afiliados al SGSSS, los cuales pasan a ser analizados por parte de las EPS de ambos regímenes para definir si hacen parte de servicios POS o No POS. En la Figura 19 se ilustra el comportamiento decreciente de estos cobros, el cual ha sucedido por causa del decremento en los costos por atención médica además de los incentivos nacionales para disminuir los recobros de carácter No POS.

## VI. CONCLUSIONES

Los subsistemas de afiliación, percepción de calidad del servicio y financiero, se interrelacionan para conformar el Sistema General de Seguridad Social en Salud de Colombia. Selected Variables 700 Con base en la literatura revisada se ve que no es necesario desagregar todas las EPS puesto que al estar vinculadas a uno de los dos regímenes, todas poseen las mismas características, de modo que no es un factor diferenciador saber a cuál EPS se encuentran afiliados los usuarios del sistema, sino a qué régimen se encuentran suscritos.

El incremento en el sistema actual de la acción de tutela se debe al aumento constante en la población, que es superior a la ampliación de las capacidades de atención; lo que genera que los servicios desatendidos aumenten año a año al igual que las demás problemáticas, que posteriormente son llevadas a quejas y luego a acciones legales.

El subsistema financiero actual, posee como principal característica, los altos niveles de intermediación y múltiples demoras en los envíos de dinero para el pago por las prestaciones de servicios relacionados con la atención médica a los usuarios del sistema.

Gracias a la información obtenida por el modelo, y contrastada con la brindada por SuperSalud, se sabe que las EPS en la actualidad poseen un comportamiento deficitario por distintos egresos que no tienen que ver con el objetivo primordial de brindar el servicio de salud a los afiliados, pero, debido a la baja calidad de las bases de datos actuales sobre los estados financieros e información sobre el funcionamiento de las EPS se requieren investigaciones futuras orientadas a las causas concretas de estos problemas.

Actualmente las finanzas de las EPS no se encuentran bajo un estricto control, motivo por el cual no se evidencian con anticipación las dificultades financieras en las que se puede encontrar el sistema de salud y los problemas en la prestación del servicio que esto implica; lo cual conlleva a generar cambios drásticos debido a las acciones urgentes que se llevan a cabo en la búsqueda de salvaguardar el derecho a la salud de los afiliados al SGSSS, cuando el sistema ya está en crisis financiera.

Este modelo además de ser un buen representante de la realidad del SGSSS colombiano, de acuerdo a la métrica del Error Relativo Medio; es el primero en analizar de manera simultánea el modo en que la

percepción de la calidad de los afiliados al sistema de salud se ve afectada por los comportamientos presentados al interior de los subsistemas financieros, ya que permite observar la manera en que las variaciones de los flujos de dinero, cambian la forma en que los pacientes reciben sus servicios médicos.

Es por esto, que será base para futuros estudios por parte de los investigadores del artículo, sobre las reformas que se van a presentar en el Sistema de Seguridad Social Colombiano a partir de las nuevas legislaciones y un modelo propuesto por los autores sobre mejoras al sistema.

## VII. REFERENCIAS

- [1] J. M. Maya, "Sistemas de Servicios de Salud," in *Fundamentos de Salud Pública*, 1 ed. Colombia: Blanco Restrepo H. & Maya Mejia JM, 2003.
- [2] V. Navarro, "Concepto Actual de Salud Pública," J. H. University, Ed., ed. Estados Unidos de Norte América: Johns Hopkins University, 2011, p. 6.
- [3] Organización Mundial de la Salud. (2000). Informe sobre la salud en el mundo 2000. Mejorar el desempeño de los sistemas de salud.
- [4] PAHO, "Las Políticas Públicas y los Sistemas Y servicios de Salud," in *Salud en las Americas vol. 1, Regional*, ed, 2007, p. 403.
- [5] Constitución Política de Colombia, "Constitución Política de Colombia, 1991," ed: Gobierno Nacional de la República de Colombia, 1991.
- [6] C. Meza. (2005, Crecimiento económico, empleo formal y acceso al servicio de salud: algunos escenarios de corto y largo plazo de la cobertura en salud para Colombia Archivos de economía.
- [7] J. Orozco. (2006, Caracterización del mercado del aseguramiento en salud para el régimen contributivo en Colombia.
- [8] R. Guerrero, A. I. Gallego, V. Becerril-Montekio, and J. Vásquez. (2011) Sistema de salud de Colombia. *Salud Pública de México*. 147, 150.
- [9] Ministerio de la Protección Social, "Política Nacional de Prestación de Servicios de Salud," ed. Bogotá D.C., 2005, pp. 13-16
- [10] J. Núñez, J. Zapata, C. Castañeda, M. Fonseca, and J. Ramírez, "La sostenibilidad financiera del Sistema de Salud Colombiano -Dinámica del gasto y principales retos de cara al futuro-," ed. Colombia: Fedesarrollo, 2012.
- [11] P. d. I. R. d. Colombia, "Decreto 2591 de 1991," ed. Bogotá D.C., 1991.
- [12] Colprensa., "Colombianos siguen acudiendo a tutelas para salud y pensiones," ed. Colombia: Vanguardia 2013.
- [13] M. García, N. Orozco, S. Puerto, and A. Ríos, "Financiamiento del Sistema General de Seguridad Social en Salud. Seguimiento y control preventivo a las políticas públicas ", ed. Colombia: ECOE EDICIONES LTDA., 2012.
- [14] M. Faezipour and S. Ferrera. (2013, A system dynamics perspective of patient satisfaction in healthcare. 1-3.
- [15] M. Trottier. (2012, Dynamic Simulation Model Workshop, making the economic case for investment in Public Health and social determinants of health to improve health and health equity for all in Canada 2-3.
- [16] P. Hovmand, M. Kreuter, and J. Deering, "Desig Public Health Dissemination and Delivery Systems," ed. Washington, Estados Unidos: Washington University St. Louis, 2012, pp. 1-13.
- [17] A. Mendoza, S. Bolívar, and L. Rojas, "Aproximación a la problemática del sistema nacional de salud en Colombia a través de un ejemplo," presented at the 9° encuentro Colombiano de dinámica de sistemas, Colombia, 2011
- [18] DANE, "Censo General," D. A. N. d. Estadística, Ed., ed, 2005.
- [19] F. Rueda, L. Ruiz, and S. Ceballos, "Descripción ", ed, 2013.
- [20] M. d. P. Social, "Decreto 3047 del 2013," ed. Colombia.
- [21] Congreso de la República de Colombia, "Ley 100 Sistema de Seguridad Social Integral," vol. 41148, ed. Diario Oficial, 1993, p. 90.
- [22] "Decreto 4023," ed. Bogotá, D.C., 2011.

## AUTORES



**Diego Alejandro Díaz**, es un estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en la ciudad de Bogotá.  
Dialejo57@gmail.com



**Laura Marcela Ruiz Galán**, estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en la ciudad de Bogotá.  
lauruizgalan@hotmail.com



**Feizar Javier Rueda Velasco**, Magister en Ingeniería Industrial, Ingeniero Industrial, Profesor de Planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en la ciudad de Bogotá e Investigador del Grupo de Investigación en Modelos Matemáticos Aplicados a la Industria de la misma institución.  
fjrueav@udistrital.edu.co

## 16. MODELO HIBRIDO PULL Y PUSH EN EL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES, EMPLEANDO DINAMICA DE SISTEMAS.

### HYBRID MODEL PULL AND PUSH IN THE TELECOMMUNICATIONS SECTOR USING SYSTEM DYNAMICS.

**MSC. OSCAR EDUARDO FLOREZ PAREJA., MSC. MAURICIO BECERRA FERNÁNDEZ.**

Maestría en Ingeniería industrial  
Faculta de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia  
oeflorez47@ucatolica.edu.co, mbecerra@ucatolica.edu.co

#### RESUMEN

La industria de las telecomunicaciones está cambiando rápidamente. Nuevos actores están entrando en el mercado, el ambiente de negocios a finales del siglo 20 se ha caracterizado por una competencia cada vez más reforzada y globalizada, los clientes cada vez más exigentes, por recursos cada vez más escasos. A ello se suma el enorme impacto de las nuevas tecnologías, en particular en los ámbitos de los sistemas de información y comunicaciones y además, si tenemos en cuenta que este ambiente está sujeto a cambios muy rápidos, entonces vamos a entender por qué es que las empresas están pasando por un período muy difícil en el que no sólo es cada vez más difícil destacar y para muchos de ellos, la supervivencia presenta un verdadero desafío.

**PALABRAS CLAVE:** Telecomunicaciones, Dinámica de sistemas, Modelo, Push, Pull

#### ABSTRACT

The telecommunications industry is changing rapidly. New players are entering the market, the business environment in the late 20th century has been characterized by an increasingly globalized and enhanced competition, customers increasingly demanding, and increasingly scarce resources. To this is added the huge impact of new technologies, particularly in the fields of information systems and communications, and also when you consider that this environment is subject to rapid change, then we will understand why it is that companies are going through a very difficult period in which it is not only increasingly difficult to stand out, but when, for many of them, survival presents a real challenge.

**KEYWORDS:** Telecommunications, System Dynamics, Model, Push, Pull

#### 1. INTRODUCCIÓN

En este artículo, se estudia Pull – Push, la integración de la cadena de abastecimiento para los sistemas de inventario en varias etapas, la integración de las etapas sucesivas que se ordenan por un sistema de solicitudes de pedidos de Pull y las otras etapas están clasificadas por un sistema de solicitudes de pedidos de tipo Push en el sector de telecomunicaciones en Colombia. Después de revisar la literatura previa, se desarrolla un modelo de dinámica de sistemas de un sistema

integrado en el que se identifica el rendimiento creciente de un modelo con ordenamiento Pull.

De acuerdo con lo anterior, se elaboró un modelo empleando dinámica de sistemas que permite determinar los niveles de inventarios en cada una de las etapas de almacenaje de equipos requeridos para la operación y que responde a los cambios de la demanda, buscando los niveles mínimos de inventario, el costo mínimo de inventarios y el nivel óptimo de prestación de servicio a los clientes.

Con base en datos históricos del comportamiento del sistema y empleando análisis estadístico (pruebas de bondad y ajuste), se simuló el comportamiento de la demanda de equipos de acuerdo a cada una de las teorías planteadas en el trabajo, Pull y Push y la implicación de un modelo que integre las dos teorías obteniendo los mínimos de inventarios en el proceso de abastecimiento.

Como medidas de rendimiento, se analizarán las ampliaciones de las cantidades de solicitudes de pedidos y los niveles de inventario y se identificará cuál de los modelos simulados presenta un mejor rendimiento en las etapas precedentes.

Fundamentado en dinámica de sistemas se construyó, se validó el comportamiento y se evaluaron los resultados de tres escenarios, Pull, Push e Híbrido Pull y Push, que calculan los niveles de inventarios en cada una de las etapas del proceso, desde la compra hasta la puesta de los productos en los puntos de venta.

Presentándose como propuesta no solo para determinar cuál es nivel mínimo de inventarios que se deben tener en cada una de las etapas del proceso, sino como una fuente para responder eficazmente a cada uno de los materiales requeridos y posteriormente servicios que se ofrecen por parte de la empresa de telecomunicaciones en Colombia.

Un proceso de Pull tiene una importancia más amplia en las actividades de una empresa que exclusivamente a cumplir las cuestiones de mercadeo. El uso de Pull es cada vez mayor en el mundo de los negocios no sólo con fines comerciales, sino también por razones de competencia. En efecto, un Pull eficiente trae muchos beneficios a una empresa. [1] Estos incluyen: (1) la reducción de los costos operativos, (2) la reducción de los costos de almacenamiento, (3) la mejora de los canales de distribución a través de un proceso más eficiente, (4) un reaprovisionamiento más eficiente, (5) la mejora en el valor de la marca de la empresa.

Sin embargo, los costos de la empresa podrían incrementarse mediante la adopción de actividades de tipo Pull [2]. Tratar eficazmente con ganancias pueden llegar a ser más caro de lo previsto y las empresas con escasos márgenes de beneficio al por menor pueden sentir que tienen muy poco que ganar. [3] Las empresas no tendrán ningún incentivo financiero para implementar un proceso de Pull [4] Por esta razón, un objetivo de la empresa es optimizar la inversa integrada y orientada al

sistema de cadena de suministro para reducir al mínimo los costos totales y maximizar los beneficios. En particular, el objetivo de las operaciones y gestión de inventario en los procesos Pull permiten controlar componentes de órdenes externas y el proceso de reaprovisionamiento de los componentes internos para garantizar un nivel de servicio específico y para minimizar el almacenamiento total y los costos de inventario. Además, hay una necesidad de determinar si en realidad puede ser más barato para reaprovisionar un retorno nuevo. [5]

## 2. SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES

El usuario de Telecomunicaciones en Colombia ha demostrado tener un interés creciente en la apropiación de las mismas, evidenciados en la evolución positiva del gasto en telecomunicaciones y en servicios como los SMS y la conexión a redes sociales.

Para convertir dicha tendencia en una oportunidad, se requiere de la reducción del déficit de acceso en Colombia y pone de manifiesto que la universalización del servicio de acceso a Internet requiere permear los estratos sociales pertenecientes a la base de la pirámide. La inserción de dichos ciudadanos a la sociedad de la información requiere de políticas especiales orientadas a remover las barreras que enfrentan los sectores de menor capacidad adquisitiva. Frente a dicho reto, el regulador de las telecomunicaciones en Colombia tiene como eje central de su labor la generación de marcos regulatorios coherentes con la nueva realidad de la convergencia de tal suerte que se remuevan las barreras a la competencia y se incentive la inversión para que los usuarios puedan acceder a más y mejores servicios. [6]

Los ingresos de dicho segmento de datos y acceso a Internet han venido creciendo de manera sostenida en cuanto a su participación dentro del total de ingresos del sector.

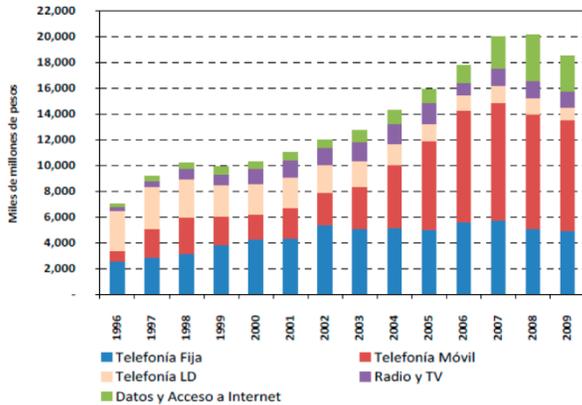


Ilustración 1. Participación de servicios en Ingresos del sector Telecomunicaciones.

La telefonía móvil ha sido una tecnología de muy rápida incorporación. De hecho, actualmente es la tecnología de uso personal más popular y difundido en todo el mundo. De acuerdo con los datos de Global Mobile Suppliers Association (GSA) para mediados de diciembre de 2010 se contabilizaban más de 4.758 millones de abonados móviles en el mundo. En este contexto, el crecimiento en la cantidad de usuarios de telefonía móvil es equivalente en todos los países de Latinoamérica, no obstante lo anterior existen casos como el de Chile donde se evidencia un ritmo de crecimiento superior si se compara con los demás países de la región.

Es de destacarse que en menos de una década del ingreso de la telefonía móvil, el número de líneas móviles supera en márgenes mayores al 80% al número de líneas de telefonía fija, situación que demuestra el claro interés de los usuarios actuales por la movilidad y que evidencia nuevamente el fenómeno de sustitución fijo-móvil.

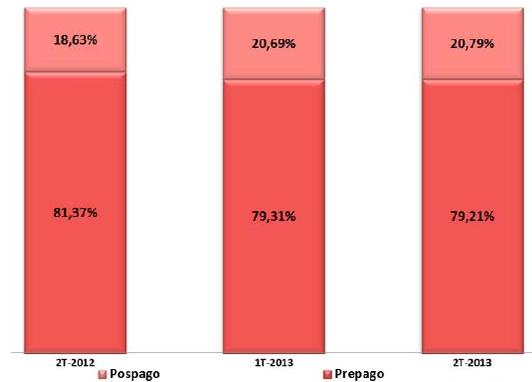
Colombia alcanzó un total de 47.313.686 abonados en servicio de telefonía móvil a finalizar el segundo trimestre de 2013. De acuerdo con la cifra alcanzada a 30 de Junio de 2013, en el país existen 100,4 abonados en servicio por cada 100 habitantes. [7]



Fuente: Proyección de población DANE 2012 – 2013 y datos reportados por los proveedores de redes y servicios al SIUST – Colombia TIC

Ilustración 2. Abonados en servicio de telefonía móvil e índice de penetración.

La participación de abonados en servicios de telefonía móvil en categoría prepago, fue de 79,21% frente al 20,79% de la categoría pos pago en el segundo trimestre de 2013.



Fuente: Datos reportados por los proveedores de redes y servicios al SIUST – Colombia TIC

Ilustración 3. Abonados en servicio de telefonía móvil por categoría

### 3. MODELOS DE DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADOS EN EL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES

#### 3.1 Sistema Push y Pull en DS.

Dentro del análisis que se realiza de los modelos de dinámica de sistemas empleados en el sector de telecomunicaciones, hay ejemplos como pronósticos de la difusión de las innovaciones por analogías en donde se evidencia que una de las tareas más difíciles para los administradores es pronosticar los volúmenes de ventas, en el actual mundo de los negocios hay una necesidad constante de un pronóstico preciso. Por ejemplo las decisiones de inversión y planificación de capacidad dependen del desarrollo de un producto para un mercado previsto. [8]

En algunos casos la dinámica de sistemas en el sector de las telecomunicaciones a nivel de definición y

validación de estrategias con el fin de mejorar el rendimiento de dos empresas de telecomunicaciones propiedad del gobierno, en estos casos, la mala planificación aplicada anteriormente había conducido al fracaso de sus resultados operativos y financieros. [8]

A si mismo se presenta modelos aplicados al sector de telecomunicaciones, para establecer y validar políticas. [9] Modelos para el pronóstico y la difusión de innovaciones y tecnologías. [8] Desarrollo de la Estrategia de Juegos tarjeta flexible "basado dinámica de sistemas": Exploración de rendimiento futuro de los proveedores de servicios de telecomunicaciones de la India. [10] Modelamiento de la demanda para el futuro de las telecomunicaciones. [11]

Adicionalmente los sistemas pull son ampliamente utilizados para el control de la producción local y por lo general, están integrados en el sistema global de producción de la planta. Es común, por ejemplo, encontrar estas estructuras pull formando parte superior del MRP en una estructura lógica de empresa, con un nivel de instrumento más bajo, este tipo de configuración se denomina con frecuencia esquemas híbridos, que generalmente requieren push (órdenes) y pull (tarjetas) con el fin de liberar los puestos de trabajo (YAMAHA Synchro MRP). [12]

Mantener niveles de inventarios en proceso constantes (Constant Work In Process) que equivale a la nivelación de la producción de los japoneses; autorizar la producción cuando llegue el cliente, premisa de los sistemas pull; verificar la capacidad mediante el chequeo de los cuellos de botella, reconocer la variabilidad y la interdependencia en los procesos, reconocer las fortalezas de los MRP como sistemas de información y las ventajas de los sistemas push, en cuanto a un control mínimo de los inventarios una vez los materiales están en la línea de producción. [13]

De los modelos que se aplica en la fabricación mediante la dinámica del sistema se plantea el modelo por Georgantz [14] que considera el servicio al cliente y la calidad del servicio expectativas y la percepción del cliente. Homer analiza la fuerza de trabajo, la satisfacción del cliente y el número de estaciones o puestos de trabajo. [15]

Acerca de las aplicaciones de logística es el modelo establecido por Senge y Rogelio [16] incluyendo la capacidad de servicio, la calidad del servicio, la satisfacción del cliente, los trabajadores y el volumen de

negocios. Edwar [17] implica la demanda, los trabajadores y las necesidades de capacidad. Anderson Morrice y Lundeen [18] también tienen en cuenta la demanda, la capacidad y los pedidos pendientes. Becerra, Romero, Herrera y Trujillo [19] consideran los requerimientos del mercado, la capacidad de las estaciones de trabajo, acuerdos de servicios y el uso de estaciones de trabajo.

#### 4. METODOLOGÍA

Revisando la literatura relacionada con DS, metodología bien establecida para la comprensión y el comportamiento de los sistemas y utilizada ampliamente en diversos campos.

La dinámica de Sistemas es una metodología cuantitativa que se basa en la teoría de control de retroalimentación y toma la simulación por computador para estudiar los sistemas complejos. [20]

La característica única de esta metodología es que ayuda a comprender los sistemas complejos desarrollando diagramas de bucle causal, valores y diagramas de flujo, estos elementos ayudan a estudiar el comportamiento del sistema.

La identificación del problema, definición, conceptualización y desarrollo del sistema, flujos y diagramas de bucle causal son parte del enfoque cualitativo; mientras que el desarrollo matemático de ecuaciones, la simulación y el análisis de sensibilidad y elaboración de hipótesis son parte de cuantitativa. Así, esta metodología es más que solo una herramienta técnica para desarrollar modelos matemáticos de física y de ingeniería, se pueden explorar ciencias sociales y de gestión.

Con lo anterior se establece la importancia de la aplicación del estudio de los niveles de inventarios en las empresas del sector de las telecomunicaciones, teniendo en cuenta su complejidad dinámica y la relación que existe entre la determinación de los niveles de inventarios, requeridos y la fluctuación de la demanda de equipos solicitados por los usuarios en los puntos de venta, por lo cual se abordó el problema por medio de dinámica de sistemas.

La compañía tiene como objetivo proporcionar de extremo a extremo soluciones de telecomunicaciones para clientes corporativos y residenciales en todo el país. Cubre servicios de comunicación de toda la gama,

incluyendo servicios de voz, servicios de conectividad, equipos móviles, televisión y telefonía fija, constituyéndose como una de las empresas más grandes del sector de telecomunicaciones en Colombia.

Existe en la actualidad una grande competencia de empresas de telecomunicaciones que ofrecen productos en común, a través de este modelo bajo la filosofía Push y Pull se pretende analizar el comportamiento de los inventarios y percibir posibles mejoras dentro del servicio prestado que permitan una mayor suscripción de clientes.

Para el desarrollo del modelo se consideran las siguientes etapas de acuerdo al proceso de Sterman. [21]

### ***Etapas I: Definición del problema, Variables y alcance.***

Cómo un modelo bajo la filosofía Push y Pull puede ser aplicado con el fin de mejorar la planificación de materiales y el cumplimiento de la promesa de servicios. Las variables clave que son factores estratégicos relacionados con el desempeño, se identifican desde dos perspectivas, la perspectiva de la empresa (Push), así como, la perspectiva de suscriptores (Pull) estas variables se detallan a continuación:

- Stock de seguridad
- Pronóstico
- Porcentaje inventario
- Pedido Push
- Pedido Pull
- Lead Time tiempo de nacionalización
- Lead Time Entrega operador
- Redes sociales

Dentro de los parámetros que se tienen en cuenta para el desarrollo del modelo, uno de los factores que entra a formar parte de las nuevas tendencias de mercado, son las redes sociales, por tal motivo se incluye esta variable como uno de los factores determinantes en la medición del modelo Híbrido Pull y Push y que adquiere mayor relevancia al momento que se integra al modelo Pull como el factor que puede aumentar o disminuir los niveles de inventarios en los puntos de venta.

El alcance del modelo es identificar por medio del comportamiento de los niveles de inventarios de

acuerdo a cada uno de las teorías de inventario Pull, Push e Híbrido, los niveles de inventario mínimo en la compra, en el operador logístico y en los puntos de venta.

### ***Etapas II: Formulación de Hipótesis Dinámica***

"La hipótesis dinámica es un boceto preliminar de la interacción principal y bucles de retroalimentación que podría explicar el comportamiento observado y esperado" [22]. La hipótesis dinámica examinada en el estudio es:

*Cómo un modelo Híbrido bajo la filosofía Pull y Push puede ser aplicado con el fin de mejorar la planificación de materiales y el cumplimiento de la promesa de servicios.*

Para examinar esta hipótesis dinámica, desde diagramas de bucle causal, (CLD) se ha desarrollado tanto para factores de la empresa y los factores de los suscriptores a través de discusiones de grupo con expertos de la compañía. A medida que el énfasis del estudio se encuentra en discutir los escenarios de transformación de la industria de las telecomunicaciones. Un enfoque integrado (CLD) muestra la interacción de los factores relacionados con la empresa y los factores relacionados con los suscriptores.

### ***Etapas III: Formulación del Modelo.***

El modelo de Dinámica de la presente investigación se realizó utilizando el software iThink, software, como Microsoft Excel, con la información suministrada para el caso de estudio de la empresa de telecomunicaciones en Colombia, la Metodología realiza un análisis de entrada del modelo variables y termina con la simulación del modelo de dinámica de sistemas.

En la ilustración 4 se presenta el diagrama causal de las interacciones de las dos teorías empleadas en esta investigación.

El modelo de dinámica de sistemas para la operación Pull, tiene en cuenta las necesidades de equipos que los clientes realizan a la compañía y es esa necesidad el factor que dispara la orden de pedido de materiales y desencadena los niveles de inventarios en cada uno de los stock de almacenaje.

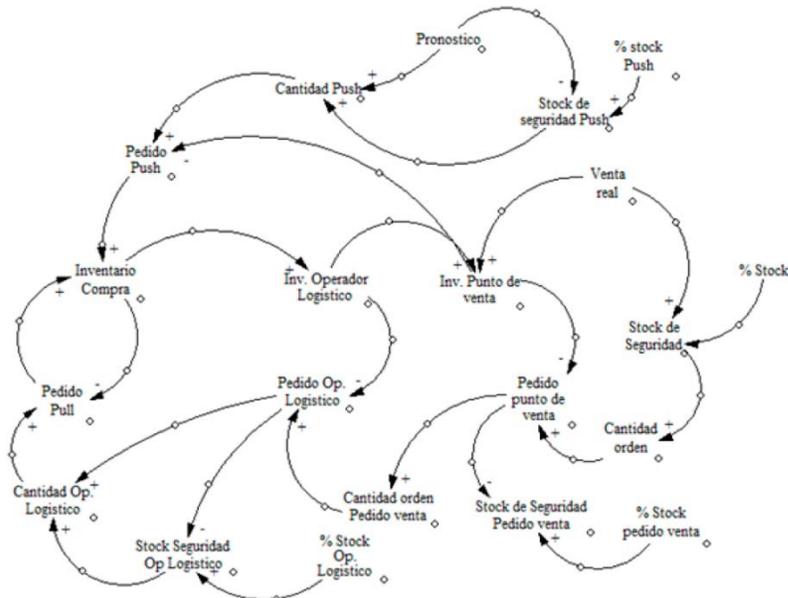


Ilustración 4. Diagrama Causal.

El modelo de dinámica de sistemas para la operación Push a diferencia del modelo Pull tiene en cuenta la planificación de las necesidades con base a pronósticos de los materiales que se requieren abastecer, es en ese instante que se desencadena la solicitud de compra y se refleja el comportamiento en los niveles de stock.

El modelo de dinámica de sistemas para la operación Pull y Push busca lograr un equilibrio entre las dos filosofías y determinar en qué momento del proceso de abastecimiento los niveles de inventarios son menores, como se muestra en la ilustración 5.

#### Etapa IV Pruebas al Modelo.

Es imprescindible llevar a cabo diferentes pruebas para la construcción de la confianza en los modelos de dinámica de sistemas y la confianza se acumula gradualmente cuando el modelo pasa a más pruebas y la correspondencia entre el modelo y realidad empírica se puede identificar. Aquí, la prueba de la estructura del modelo que se ha hecho con la ayuda de las siguientes pruebas. [23]

Prueba de Estructura de verificación: Esta prueba abarca la comparación de modelo directamente con

estructura del sistema real que el modelo representa. [23]

Prueba Dimensional-consistencia: Esta prueba implica el análisis dimensional de la tasa de modelo ecuaciones. [23].

Prueba adecuada de Límites: Esta prueba considera las relaciones estructurales necesarias para satisfacer el propósito del modelo. Esta prueba se pregunta si el modelo agregado es apropiado e incluye toda la estructura correspondiente. Esta prueba consiste en el desarrollo de una hipótesis convincente relación estructura del modelo propuesto a un tema en particular dirigida por un modelo. [23].

#### Paso V Simulación y Análisis.

Los resultados del modelo se analizaron a través del comportamiento de los niveles de inventarios de acuerdo a cada uno de las teorías de inventario Pull y Push.

Para la simulación de las medidas de desempeño se calculan los niveles de inventario de compra, los niveles de inventarios en el operador logístico y los niveles de inventarios en los puntos de venta.

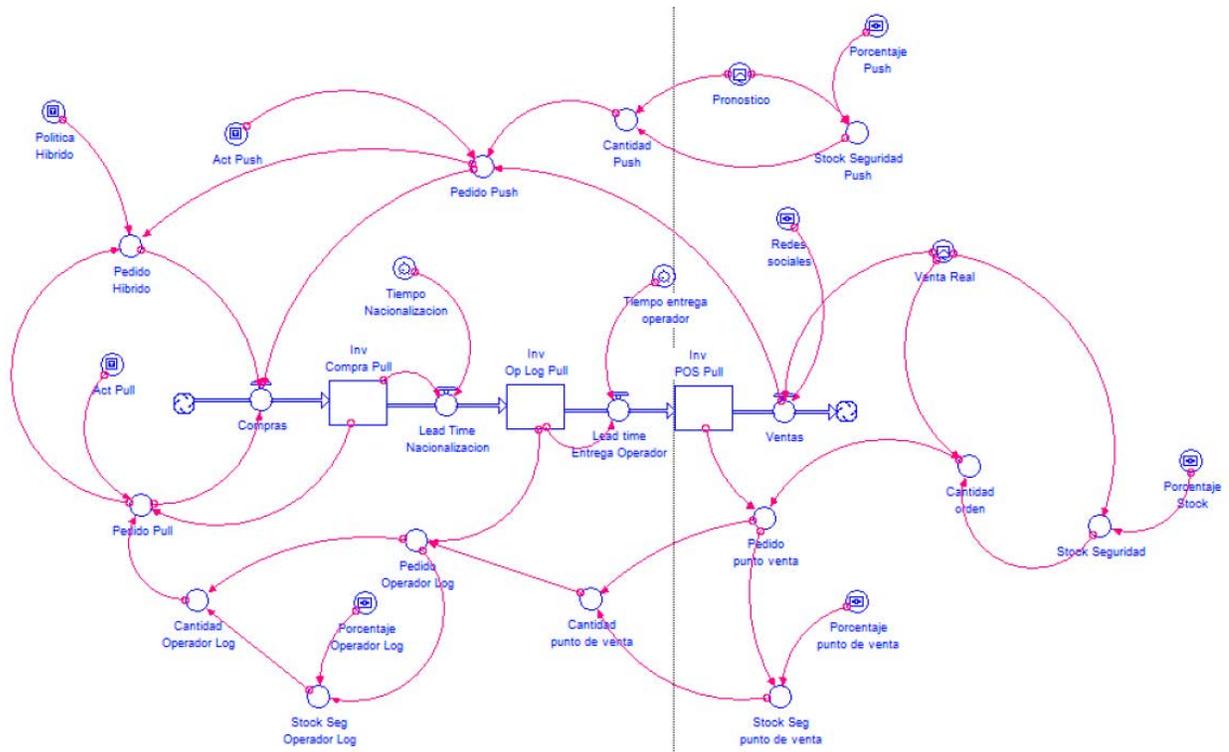


Ilustración 5. Stock and Flow Diagrama de DS Push y Pull Model

El modelo ha sido gestionado y la dinámica de las diferentes variables de las acciones han sido capturadas. La base de años se ha tomado entre los años 2012 y 2014 y la simulación se ha ejecutado para los próximos 5 años.

Para realizar las pruebas al modelo híbrido Pull y Push se construyeron tres escenarios por cada una de las teorías que permitan contrastar e identificar los cambios presentados en los inventarios durante la ejecución de cada uno de los modelos.

Como principales resultados del desarrollo del análisis de los modelos relacionados con los niveles de inventarios mínimos dentro del proceso de abastecimiento se encuentran los siguientes.

Niveles de inventarios de compra por cada una de las operaciones Pull, Push e Híbrido, como se muestra en la ilustración 6.

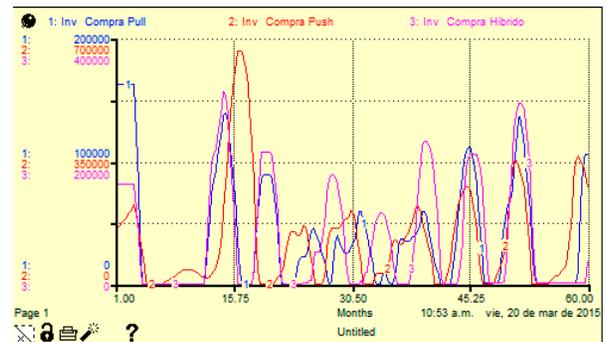


Ilustración 6. Inventario mínimo compra.

En la ilustración 7 se observan los niveles de inventarios en el operador logístico por cada una de las operaciones Pull, Push e Híbrido.

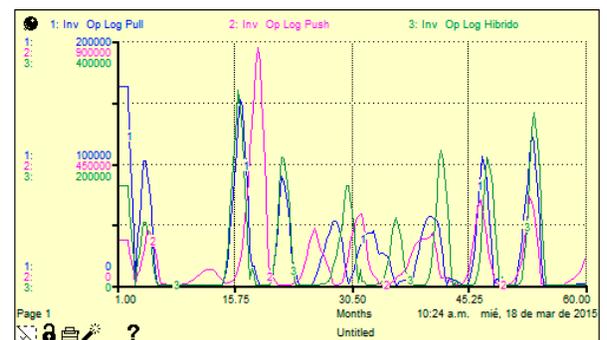


Ilustración 7. Inventario mínimo Operador Logístico.

En la ilustración 8 se observan los niveles de inventarios en el punto de venta por cada una de las operaciones Pull, Push e Híbrido.

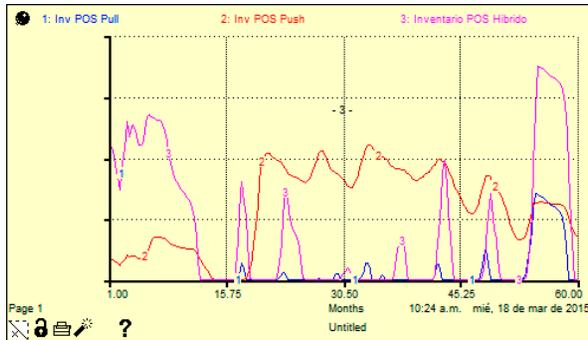


Ilustración 8. Inventario mínimo Punto de Venta.

Adicionalmente se realizaron análisis de costos de inventarios mínimos, costos acumulados y de cumplimiento de servicio a los clientes en cada uno de los escenarios probados (Ver Ilustración 9 y tabla 1). Respectivamente.

Los escenarios con los niveles mínimos de inventarios y costos se emplearon para medir los niveles de

cumplimiento de servicio a los clientes, los cuales se pueden evidenciar las siguientes tasas de cumplimiento (ver tabla 2).

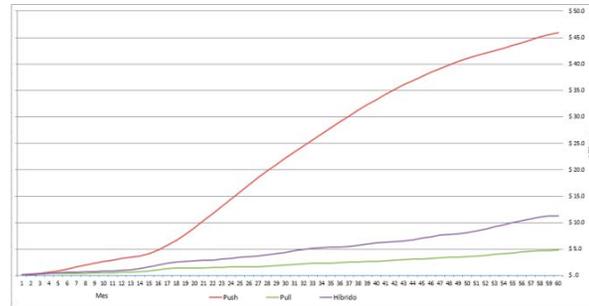


Ilustración 9. Costo Acumulado por escenario.

Se evidencia un menor costo acumulado en el escenario Pull a lo largo de los periodos analizados, aunque no refleja el mejor comportamiento con respecto al nivel de cumplimiento de servicio dado que entra en ciclos de desabastecimiento dejando de atender a los clientes, por tal motivo es recomendable emplear un modelo híbrido que permita un equilibrio entre la demanda y la oferta.

Análisis Costo Inventarios Mínimos * 60 Meses				
Escenarios	Costo Inv Compra	Costo Inv Op Log.	Costo Inv POS	Costo Total
Modelo Push # 3	\$ 8.468.132.621.020.89	\$ 6.625.754.846.189.48	\$ 43.661.228.276.817.70	<b>\$ 58.755.115.744.028.10</b>
Modelo Pull # 3	\$ 2.611.153.330.874.89	\$ 2.067.100.689.097.54	\$ 2.702.478.599.556.62	<b>\$ 7.380.732.619.529.05</b>
Modelo Híbrido # 3	\$ 5.074.226.224.291.49	\$ 3.485.504.923.843.15	\$ 4.498.114.624.097.76	<b>\$ 13.057.845.772.232.40</b>

Tabla 1. Análisis Costo Inventario mínimo.

Nivel de Cumplimiento Clientes					
Modelo Pull		Modelo Push		Modelo Híbrido	
Venta Real	Ventas	Venta Real	Ventas	Venta Real	Ventas
2.970.707.00	1.407.946.96	2.970.707.00	2.995.062.01	2.970.707.00	2.681.537.76
47% Cumplimiento		100% Cumplimiento		90% Cumplimiento	

Tabla 2. Nivel Cumplimiento Ventas.

### 5. CONCLUSIONES

La Dinámica de Sistemas se utiliza para apoyar el aprendizaje de gestión sobre el comportamiento del sistema en reaccionar a los "shocks" externos (es decir, los cambios bruscos de la demanda, los cuellos de botella, etc.) y retrasos, no lineales y su desempeño puede afectar las variables a través del tiempo.

El comportamiento del modelo Híbrido Pull y Push permite analizar el comportamiento futuro del sistema actual, estudiado y analizado en el presente en la industria de las telecomunicaciones de Colombia, que está experimentando cambios constantes, por lo tanto, un modelo híbrido Pull y Push refleja parte del

comportamiento del mercado, el modelo híbrido responde a las necesidades del mercado y de la empresa ya que mantiene los niveles de inventario en los mínimos necesarios para cubrir la demanda, integrando la metodología de dinámica de sistemas que ayuda para investigar los cambios permanentes en el sector de telecomunicaciones.

El modelo híbrido Pull y Push basado en DS sugiere una estrategia de intervenciones en términos de desarrollo de nuevas tácticas enfocadas en modelos Pull que innoven un mercado tan cambiante sin llegar a niveles de desabastecimiento respondiendo rápidamente a las necesidades de los clientes.

Se evidencia que el modelo Pull mantiene los niveles de inventarios mínimos en cada uno de los escenarios analizados, y comparado con los escenarios Push y Híbrido el comportamiento de los inventarios es mínimo, esto refleja una oportunidad para concentrar los esfuerzos en políticas Pull que permitan disminuir los costos de almacenaje y los niveles de inventario en la compañía.

Dentro del análisis que se realizó a los costos y a los niveles de cumplimiento de servicio al cliente se evidencio que el mejor modelo para obtener unos costos mínimos de inventarios es el modelo Pull, no obstante es el menos apropiado para garantizar el cumplimiento de los equipos demandados, reflejando solo un 47% de cumplimiento de servicio. Se logra un equilibrio en el modelo con una ejecución hibrida Push y Pull la cual permite que se mantengan niveles mínimos de inventarios y los costos mínimos y el cumplimiento de servicio al cliente llegue a 90% de atención en los puntos de ventas.

Los trabajos futuros a partir del modelo elaborado, se centraran en el estudio del efecto que tiene sobre la organización las operaciones relacionadas a la demanda de servicios como: Internet, televisión etc...

## REFERENCIAS

- [1] A. Roy, «How Efficient is Your Reverse Supply Chain?», ICFAI Press, 09 October 2006..
- [2] K. Inderfurth, «Impact of uncertainties on recovery behaviour in a remanufacturing environment: a numerical analysis», *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. vol. 35, nº 5, p. pp. 318–336, 2005.
- [3] A. Zieger, «Reverse logistics: The new priority?», *Computers and Industrial Engineering*, nº nº 4, p. p. 20, 2003.
- [4] C. K. C. Prahinski, «Empirical research opportunities in reverse supply chains», *Computers and Industrial Engineering*, vol. 34, nº 6, p. pp. 519–532, 2006.
- [5] Fleischmann, «Quantitative models for reverse logistics: a review», *European Journal of Operational Research*, vol. vol. 103, nº nº 1, p. pp. 1–17, 1997.
- [6] C. d. R. d. Comunicaciones, 12 2010. [En línea]. Available: [www.crcom.gov.co/?idcategoria=56571&download..](http://www.crcom.gov.co/?idcategoria=56571&download..)
- [7] C. d. R. d. C. – R. d. Colombia, «Comisión de Regulación de Comunicaciones – República de Colombia», 28 12 2010. [En línea]. Available: [www.crcom.gov.co/?idcategoria=56571&download..](http://www.crcom.gov.co/?idcategoria=56571&download..)
- [8] E.-M. Cronrath, «Forecasting the Diffusion of Innovations by Analogies: Examples of the Mobile Telecommunication Market», de *Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society and 50th Anniversary Celebration*, Boston, MA, USA, 2007.
- [9] B. Ramos, «APPLICATIONS OF A TELECOM SECTOR MODEL FOR ESTABLISHING AND VALIDATING TELECOM POLICIES AND STRATEGIES», de *Proceedings of the 29th International Conference of the System Dynamics Society*, Washington, DC, 2011.
- [10] N. Yadav1, «Development of “System Dynamics-based” Flexible Strategy Game-card: Exploring Future Performance of the Indian Telecom Service Providers», de *Proceedings of the 31st International Conference of the System Dynamics Society*, Cambridge, MA, USA, 2013.
- [11] F. B. I. k. a. M. H. L. Jeremy Barnes, «Scenario Modelling og demanda for Future Telecommunications Services», de *The 12th International Conference of the System Dynamics Society*, Stirling, Scotland, 1994.
- [12] R. R. U. J. M. F. T. R. Z. d. adolfo Crespo Marques, «THE PULL CONTROL SYSTEMS, A SYSTEM DYNAMICS PRESPECTIVE», de *International System Dynamics Conferences*, Cambridge, MA, USA, 1996.
- [13] D. W. A. W. J. H. SPERMAN. M. L, «CONWIP: A Pull alternative to kanban», de *CONWIP: A Pull alternative to kanban*, 1990, pp. 879 - 894.
- [14] N. Georgantzias, «Perpetual Dynamics of "good" and "por" service quality», de *the 11th International Conference of the System Dynamics Society*, Cancun, 1993.
- [15] J.Homer, «Macro-and Micro- Modeling of field Service Dynamics», de *the 16th International Conference of the System Dynamics Society*, Quebec, 1998.
- [16] P. S. y. O. Rogelio, «Developing a Theory of Service Quality/service Capacity Interaction», de *The 11th International Conference of the System Dynamics Society*, Cancun, 1993.
- [17] A. E. G, «Mananging Software Implementers in the Information Services Industry: An example of the Impact of market Growth on Knowledge Worker Productivity and», de *The 16th international Conference of the system Dynamics society*, Quebec City, 1998.
- [18] E. G. M. D. J. & L. G. ANDERSON, «The “physics” of capacity and backlog management in service and custom manufacturing supply chains.,» *System Dynamics Review*, vol. 21, nº (3), pp. 217-247., 2005.
- [19] O. R. q. M. H. R. y. J. T. D. M. B. Fernandez, «Modelamiento de la demanda de servicios logísticos de

almacenamiento a través de dinámica de sistemas,» de IX congreso Latinoamericano de dinámica de sistemas y II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, Brasilia, 2011.

[20] M. Su, *The Principle and Application of System Dynamics*, Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 1988.

[21] J. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World.*, New Delhi, India: Tata McGraw Hill Education Private Limited, 2010.

[22] J. Morecroft, *Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach.*, John Wiley and Sons Ltd, 2007.

## 17. DYNAMIC EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF REVERSE LOGISTICS OF TIRES.

**SANTIAGO CAMARGO RODRIGUEZ, JESSICA ANDREA FRANCO LÓPEZ, VIVIAN LORENA CHUD, JUAN CARLOS OSORIO PANTOJA**

Universidad del Valle - Colombia

santiago.camargo@correounivalle.edu.co, jessica.franco@correounivalle.edu.co, juan.osorio@correounivalle.edu.co

### ABSTRACT

In this study the environmental impact caused by the reverse logistics of the tires through the tool of system dynamics is evaluated. Four final provisions are evaluated, which are co-processing; crushing; retreading and tire disposal in a landfill. The system starts with the production of new tires and how waste tires can be reused or extended service. The article shows how result, the emission behavior studied in the processes and the volume occupied by the tires that are not collected for proper disposal.

**KEYWORDS:** Tires, reverse logistics, system dynamics, environmental impacts.

### I. INTRODUCCIÓN

OS productos al final de su ciclo de vida se vuelven residuos que representan un gran potencial para ser aprovechados introduciéndolos de nuevo al proceso de cadena de suministro de la misma empresa o empresas secundarias, mediante actividades logísticas de recogida, desmontaje y desmembramiento de productos ya usados, con esto nace el concepto de logística inversa, el cual busca que los residuos se transformen con el fin de aprovechar las propiedades de los materiales para obtener beneficios económicos y ambientales [1].

Un nuevo paradigma que se plantea es que quién produce el artículo es responsable de los impactos de su ciclo de vida, por lo tanto en cada una de las fases del ciclo de vida del producto se debe tener en cuenta el impacto ambiental que se genera. El impacto ambiental es una de las dimensiones que intervienen en el desarrollo sostenible, el cual comprende el tema de los residuos sólidos y propicia reducir la generación de desechos por medio del reciclaje y reuso de todo material al máximo[1], [2].

Debido a que el desarrollo sostenible pretende satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras y conociendo que de algunos residuos depositados en los rellenos sanitarios se pueden aprovechar sus materiales, se encuentra por ejemplo el caucho de las llantas, las cuales generan en Colombia una cantidad de residuos de 61.000 toneladas al año. Además la resolución 1457 de 2010 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, establece un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas, la cual obliga a las empresas productoras e importadoras a incrementar el porcentaje de recolección anual de llantas usadas [3].

Algunos autores han considerado que una solución para la gestión de residuos es la implementación de la logística inversa, la cual considera el flujo del residuo desde el cliente hasta el fabricante para que se haga responsable del tratamiento de la disposición final de dichos residuos, además como afirma [5], la logística inversa también se refiere al reciclado, reutilización de materiales, eliminación de residuos, reparación, remanufactura y entre otros. Lo anterior indica que las empresas deben de establecer un sistema dinámico que les permita evaluar cómo beneficia al medio ambiente la

recolección, remanufactura, reparación y demás procesos que se puedan llevar a cabo con las llantas como residuo para evitar que al final de su ciclo de vida estas tengan una inadecuada disposición [4],[5].

Debido a que un impacto ambiental se presenta cuando hay una alteración del sistema ambiental que puede ser atribuido por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad, la evaluación del impacto ambiental tiene carácter predictivo y preventivo, que pretende predecir los impactos y proveer la información necesaria para tomar decisiones de manera adecuada, a su vez evaluando el desempeño que indicará cómo se están implementando las políticas de prevención y el cumplimiento de la normatividad ambiental. Como estos indicadores están en un contexto dinámico, tienen que ser revisados constantemente y deben de mostrar la naturaleza cambiante de las perspectivas políticas y las percepciones públicas respecto a la gravedad de los diferentes problemas ambientales. Todo este dinamismo de las variables puede ser estudiado mediante la herramienta de simulación de dinámica de sistemas que permite analizar el comportamiento de un sistema en el tiempo, pues considera elementos que lo componen y las interrelaciones presentes entre dichos elementos [6], [7].

La dinámica de sistemas como herramienta de simulación, permite visualizar los efectos de diferentes decisiones o escenarios y comprobar las interacciones entre los elementos del sistema, porque se puede determinar el comportamiento de las variables a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se utiliza la dinámica de sistemas como herramienta para la evaluación del desempeño ambiental de la logística inversa de las llantas. [8]

- Producción de llantas nuevas: El petróleo utilizado, el consumo de energía y la emisión de CO<sub>2</sub>.
- Producción de llantas reencauchadas: El petróleo utilizado, el consumo de energía y la emisión de CO<sub>2</sub>.
- Coprocesamiento: Las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y material particulado.
- Trituración: El consumo de energía, el material particulado y el material inerte.
- El volumen que ocuparían los residuos de llantas en los rellenos sanitarios.

Todo lo anterior bajo la situación actual del sistema y la implementación de la Resolución 1457. Como caso de

estudio, el análisis se realizó con la demanda de llantas de automóviles de la ciudad de Bogotá.

## II. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

La dinámica de sistemas es una herramienta que para entender los sistemas complejos, esta herramienta fue introducida por Forrester al comienzo de los años 60 utilizándola como metodología de modelado y simulación para análisis y como toma de decisiones para problemas de gestión industrial dinámicos. [9] En su artículo muestran los diferentes campos en los que se ha trabajado la dinámica de sistemas modelando sistemas en ingeniería, economía y negocios, planificación y gestión de proyectos, gestión medio ambiental, sanidad pública e historia, además exponen que la filosofía de la dinámica de sistemas "gira en torno al concepto de retroalimentación, o causalidad circular entre variables observables" [10] [9]

La dinámica de sistemas analiza la evolución del sistema a través del tiempo, representado problemas reales, para así observar y comprender el sistema. Los modelos de dinámica de sistemas generan explicaciones razonables para las relaciones involucradas y los resultados de posibles intervenciones. Construir un modelo de dinámica de sistemas se divide en dos partes como las enuncia [11]:  
Figura 1. Diagrama causal del sistema.

- Etapa cualitativa donde se identifican las principales variables involucradas en el sistema y las relaciones, que son representadas en el diagrama causal, donde se indica si son positivas (Bucle de refuerzo) o negativas (Bucle de compensación)
- Etapa cuantitativa en la que las relaciones causales se describen matemáticamente mediante ecuaciones explícitas o funciones tabulares sustentadas por datos empíricos.

## III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad se puede evidenciar una gran problemática debido a la gran cantidad de residuos generados a diario, ya que el manejo y la eliminación de estos residuos sólidos están generando una serie de problemas críticos en áreas urbanas de las principales ciudades de Latinoamérica. Aunque los rellenos sanitarios se convirtieron en un principio en una solución para realizar un control de la contaminación, es necesario ser conscientes de que estos también poseen un ciclo de vida estimado [12].

El 71,9% de las llantas tienen destino final en los rellenos sanitarios o son incineradas, a este porcentaje de llantas no se les da la oportunidad de reutilización o uso de sus componentes y además en Colombia la Resolución 1457 de 2010 establece un sistema de recolección de llantas usadas de recolección anual de estas. Después de recolectar las llantas las empresas deben de escoger una disposición para estas que sea autorizada por la Resolución, y la decisión la pueden enfocar analizando cuál disposición causa menor impacto ambiental [13]

#### IV. REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA

El sistema de producción y disposición final de las llantas se representa mediante el diagrama causal que se muestra en la Figura 1. El proceso logístico comienza con la demanda de llantas nuevas activando la producción de llantas y con ello a la venta de estas, las cuales son desechadas cuando culmina.

En este artículo se presenta el impacto ambiental asociado a las diferentes disposiciones permitidas en la resolución 1457 de 2010, teniendo en cuenta:

- Producción de llantas nuevas: El petróleo utilizado, el consumo de energía y la emisión de CO<sub>2</sub>.
- Producción de llantas reencauchadas: El petróleo utilizado, el consumo de energía y la emisión de CO<sub>2</sub>.
- Coprocesamiento: Las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y material particulado.
- Trituración: El consumo de energía, el material particulado y el material inerte.
- El volumen que ocuparían los residuos de llantas en los rellenos sanitarios.

Todo lo anterior bajo la situación actual del sistema y la implementación de la Resolución 1457. Como caso de estudio, el análisis se realizó con la demanda de llantas de automóviles de la ciudad de Bogotá.

#### II. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

La dinámica de sistemas es una herramienta que para entender los sistemas complejos, esta herramienta fue introducida por Forrester al comienzo de los años 60 utilizándola como metodología de modelado y simulación para análisis y como toma de decisiones para problemas de gestión industrial dinámicos. [9] En su artículo muestran los diferentes campos en los que se ha trabajado la dinámica de sistemas modelando

sistemas en ingeniería, economía y negocios, planificación y gestión de proyectos, gestión medio ambiental, sanidad pública e historia, además exponen que la filosofía de la dinámica de sistemas “gira en torno al concepto de retroalimentación, o causalidad circular entre variables observables” [10] [9]

La dinámica de sistemas analiza la evolución del sistema a través del tiempo, representado problemas reales, para así observar y comprender el sistema. Los modelos de dinámica de sistemas generan explicaciones razonables para las relaciones involucradas y los resultados de posibles intervenciones. Construir un modelo de dinámica de sistemas se divide en dos partes como las enuncia [11]:

- Etapa cualitativa donde se identifican las principales variables involucradas en el sistema y las relaciones, que son representadas en el diagrama causal, donde se indica si son positivas (Bucle de refuerzo) o negativas (Bucle de compensación)
- Etapa cuantitativa en la que las relaciones causales se describen matemáticamente mediante ecuaciones explícitas o funciones tabulares sustentadas por datos empíricos.

#### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad se puede evidenciar una gran problemática debido a la gran cantidad de residuos generados a diario, ya que el manejo y la eliminación de estos residuos sólidos están generando una serie de problemas críticos en áreas urbanas de las principales ciudades de Latinoamérica. Aunque los rellenos sanitarios se convirtieron en un principio en una solución para realizar un control de la contaminación, es necesario ser conscientes de que estos también poseen un ciclo de vida estimado [12].

El 71,9% de las llantas tienen destino final en los rellenos sanitarios o son incineradas, a este porcentaje de llantas no se les da la oportunidad de reutilización o uso de sus componentes y además en Colombia la Resolución 1457 de 2010 establece un sistema de recolección de llantas usadas de recolección anual de estas. Después de recolectar las llantas las empresas deben de escoger una disposición para estas que sea autorizada por la Resolución, y la decisión la pueden enfocar analizando cuál disposición causa menor impacto ambiental [13]

#### IV. REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA

El sistema de producción y disposición final de las llantas se representa mediante el diagrama causal que se muestra en la Figura 1. El proceso logístico comienza con la demanda de llantas nuevas activando la producción de llantas y con ello a la venta de estas, las

cuales son desechadas cuando culmina su ciclo de vida. A partir de ahí comienza el análisis de las diferentes disposiciones finales o uso en otros mercados en donde se busca generar el menor impacto ambiental.

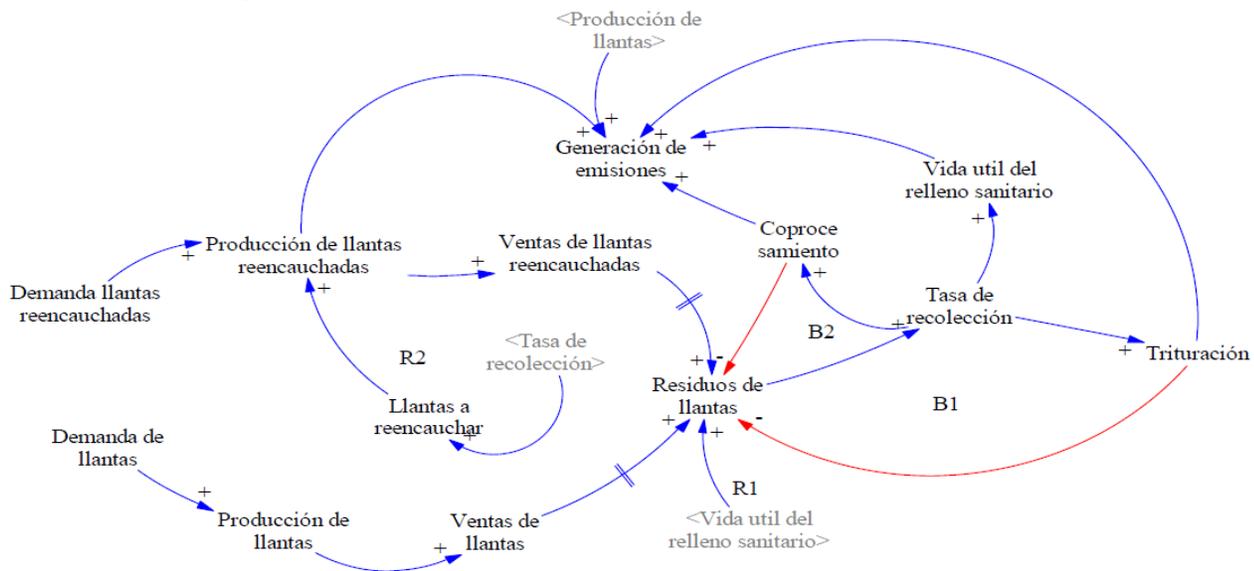


Figura 1. Diagrama causal del sistema.

Dentro de las disposiciones finales que se analizarán en este trabajo se encuentran el coprocesamiento, el renecauche y trituración, esta última disposición abarca el uso artesanal, la trituración, regrabado y cualquier otra actividad que se realice con las llantas que sea legal. Cada una de estas actividades en las que se ve involucrada la transformación de materias primas o de las llantas ya elaboradas, se encuentra diferentes impactos ambientales. Estos impactos ambientales, están siendo controlados por políticas ambientales que regulan las cantidades permisibles de emisiones [14][14].

En el diagrama causal de la Figura 1., se puede observar que de este surgen 4 bucles, de los cuales 2 son de refuerzo y 2 de compensación. El primer bucle de refuerzo se muestra en la Figura No. 2 (Vida útil de los rellenos sanitarios), en el que se involucra el residuo de llantas, que afectan la tasa de recolección positivamente, así al presentarse un aumento de la tasa de recolección también se alarga la vida útil del relleno sanitario. Entre mayor sea la vida útil de los rellenos sanitarios más residuos de llantas estarán disponibles para otros usos al final de su ciclo de vida.

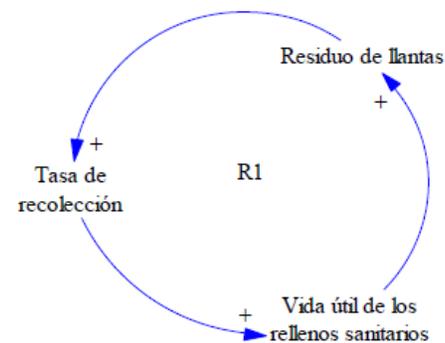


Figura 2. Primer bucle de refuerzo (Vida útil de los rellenos sanitarios).

El segundo bucle de refuerzo, Producción de llantas reencauchadas (Figura 4), está asociado al residuo de llantas que aumenta la tasa de recolección de estas, permitiendo así más llantas a reencacuchar y más producción de llantas reencauchadas, donde a más nivel de producción se genera más ventas de llantas reencauchadas, que con el paso del tiempo y el consumo de estas, se aumenta el nivel de residuo de llantas una vez estas hayan cumplido su ciclo de vida.

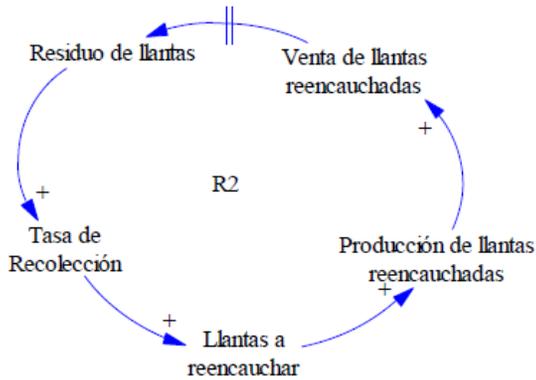


Figura 3. Segundo bucle de refuerzo (Producción de llantas reencauchadas).

El tercer bucle es de compensación, Figura 4 (trititación), involucra el residuo de llantas el cual afecta la tasa de recolección de estas permitiendo más uso en las diferentes disposiciones finales, una disposición es la trititación, que aumenta conforme la tasa de recolección también lo hace, al llevar a cabo este proceso, los residuos de llantas van a disminuir.

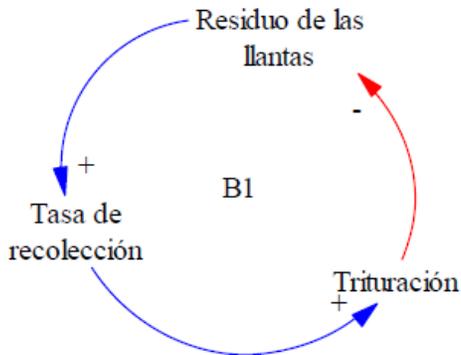


Figura 4. Primer bucle de compensación (Trititación)

El cuarto bucle es de compensación, Figura 5 (coprocesamiento), representa como la disposición final de coprocesar el residuo de llantas disminuye el nivel estas, pues a más residuos de llantas se tengan, mayor va hacer la tasa de recolección y por lo tanto más llantas se dispondrán a coprocesar haciendo que se disminuyan los residuos de llantas.

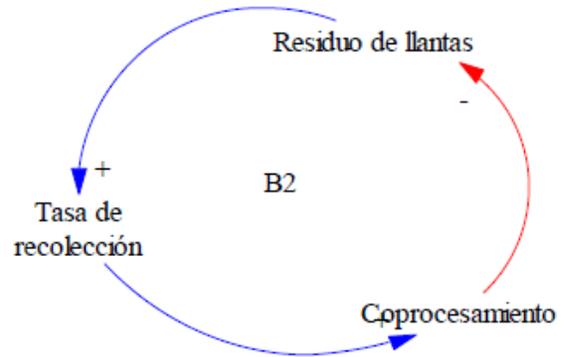


Figura 5. Segundo bucle de compensación (Coprocesamiento)

Dentro del análisis que se realiza a los bucles, se observa que alargar la vida útil de los rellenos sanitarios aumenta los residuos de llantas, aumentando así la cantidad de llantas que se utilizan para reencauchar, coprocesar y trititar, y si bien el coprocesamiento y trititación disminuyen la cantidad de los residuos de llantas, el reencaucho aumenta el residuos de estas, como también lo hace la producción de llantas nuevas, lo cual se puede evidenciar en el diagrama causal del sistema, figura 1, en donde la venta de llantas nuevas aumenta los residuos de llantas.

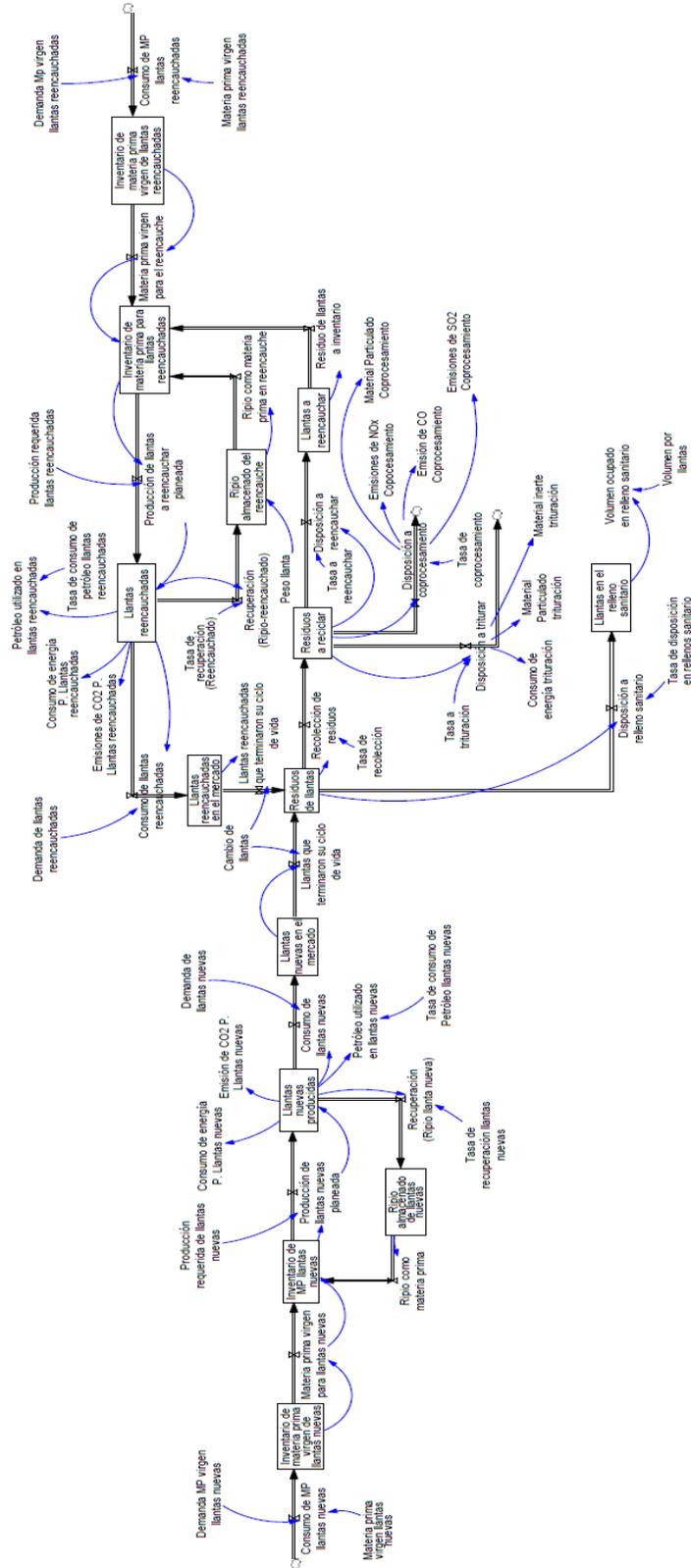


Figura 6. Diagrama Forrester del sistema

Con la descripción del sistema anterior, se construyó el diagrama de Forrester que se muestra en la Figura 6. El escenario 1 muestra el comportamiento del sistema con la tasa de recolección de residuos del 28,1% (Constante) dada en [13] para el año 2010, y en el escenario 2 la tasa de recolección de residuos inicial es del 20%, la establecida para el año 2012 por la resolución 1457 del año 2010, suponiendo que el resto de llantas tienen disposición final en los rellenos sanitarios, esta tasa se debe de ir aumentando el 5% anual hasta tener como mínimo el 65%. Además se muestra los porcentajes de disposiciones dadas en [15] que se utilizarán para ambos escenarios con el siguiente cambio:

- Tasa a reencacuhar: 17,2%
- Tasa a coprocesamiento (Uso energético): 71,9%
- Tasa a trituración (Regrabado, Uso artesanal, Otros usos): 10,8%

### VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figuras 7, se muestra el comportamiento de la variable llantas en el relleno sanitario, se puede observar que con la implementación de la política ambiental (escenario 2) el número de llantas en los rellenos sanitarios disminuye, así como también lo hace el volumen que estas ocupan en dichas áreas con respecto al escenario 1.

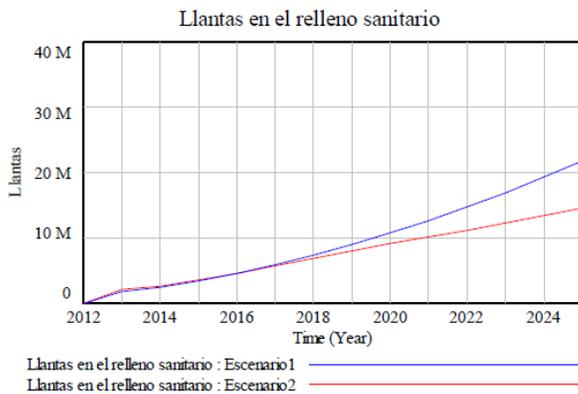


Figura 7. Llantas en el relleno sanitario

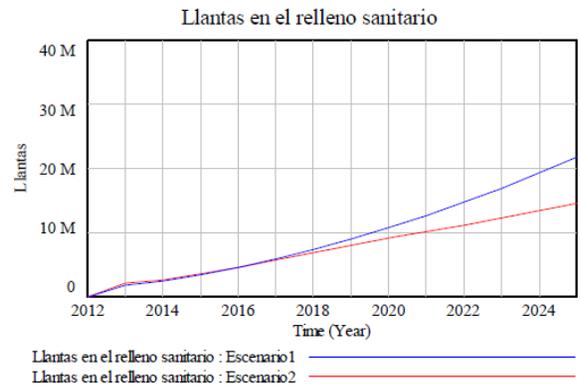
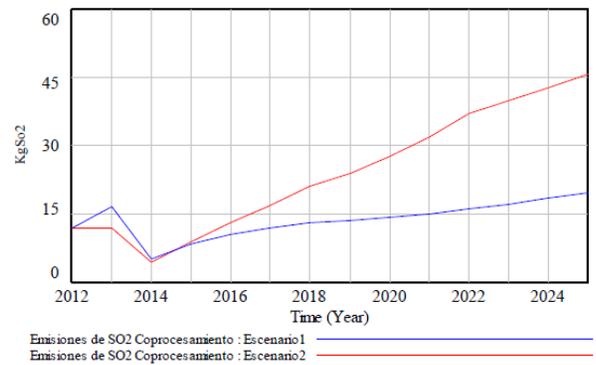


Figura 8. Residuos a reciclar  
Emisiones de SO2 Coprocesamiento



En la figura 8, se aprecia que con la implementación de la política ambiental las llantas a recolectar se incrementan haciendo que aumente la cantidad de llantas a las diferentes disposiciones finales como se puede observar en las figuras 9, 10 y 11.

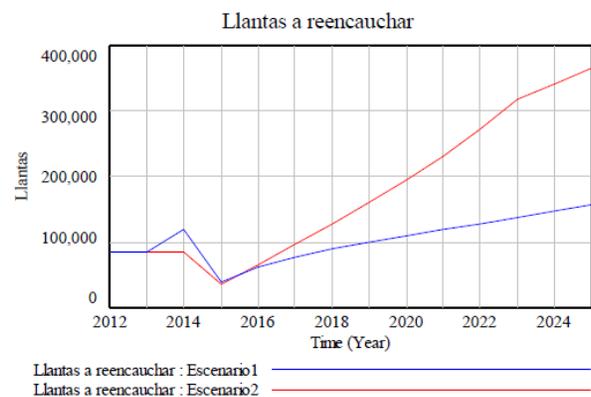


Figura 9. Llantas a triturar

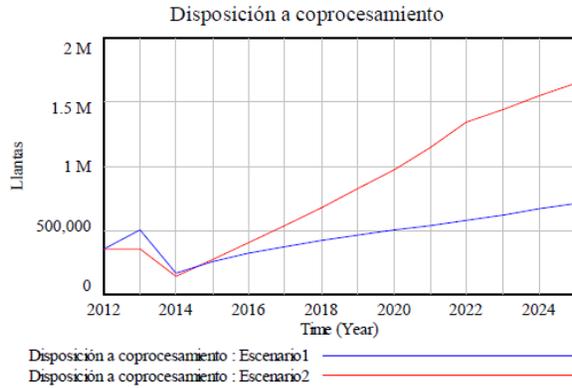


Figura 10. Disposición a coprocesamiento

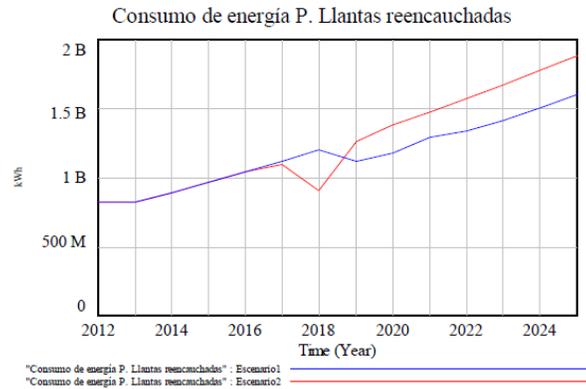


Figura 13. Consumo de energía P. Llantas reencauchadas

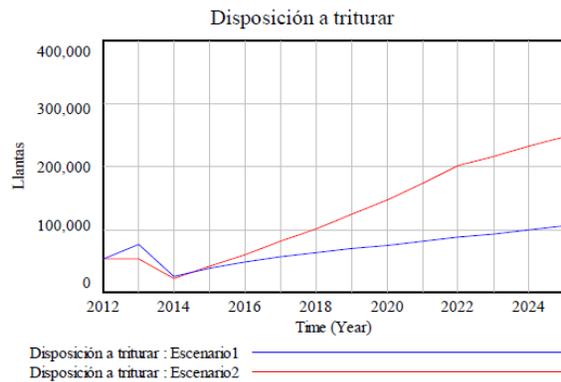


Figura 11. Disposición a triturar

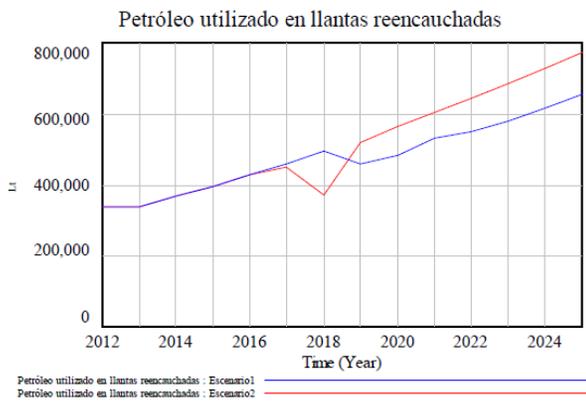


Figura 14. Petróleo utilizado en llantas reencauchadas

En las figuras 12, 13 y 14 se muestra el comportamiento del consumo de energía, petróleo y emisiones de CO2 respecto al reencauche de las llantas.

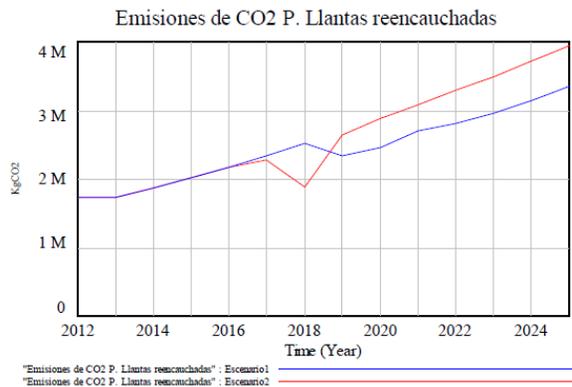


Figura 12. Emisiones de CO2 P. Llantas reencauchadas

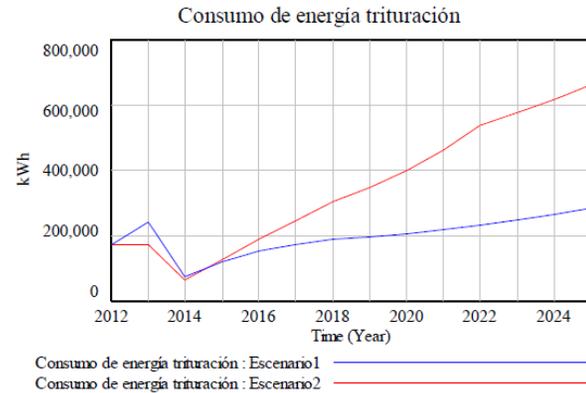


Figura 15. Consumo de energía trituración

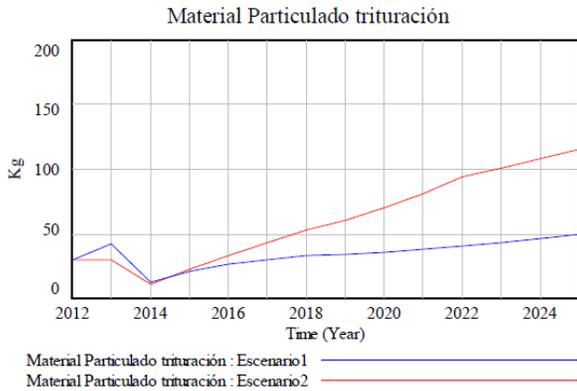


Figura 16. Material particulado trituración

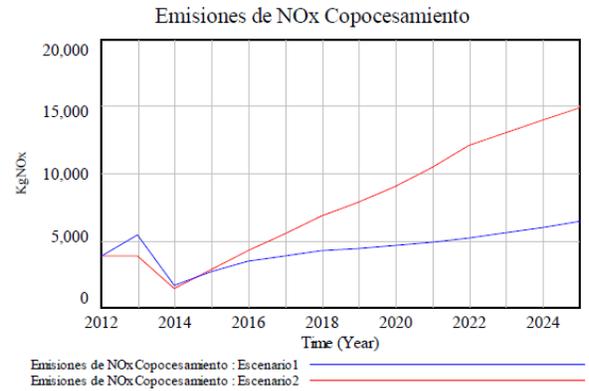


Figura 19. Emisiones de, NOx Coprocesamiento.

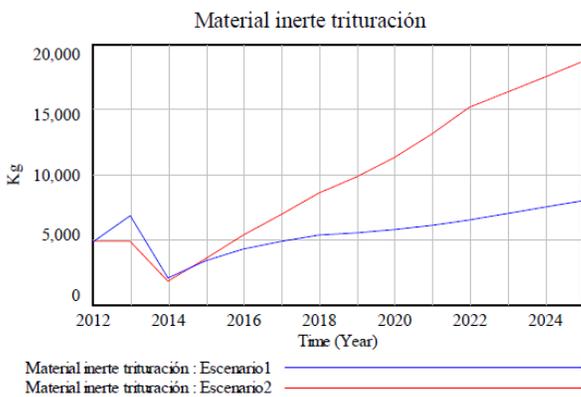


Figura 17. Material inerte trituración

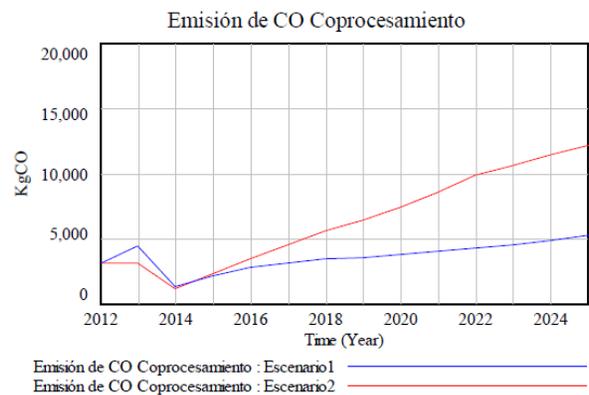


Figura 20. Emisiones de CO Coprocesamiento.

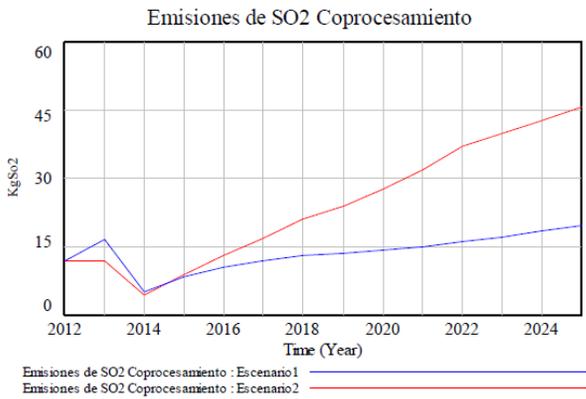


Figura 18. Emisiones de SO2 Coprocesamiento.

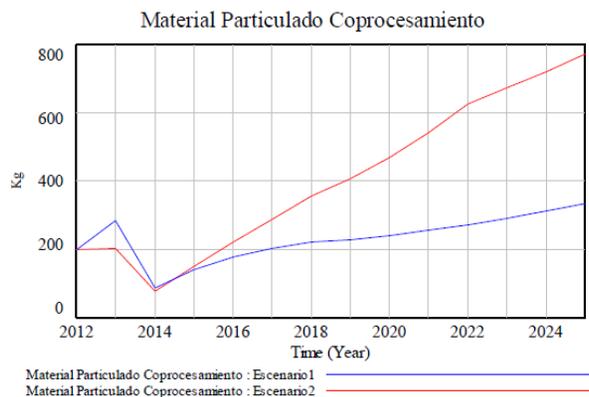


Figura 21. Emisiones de Material particulado Coprocesamiento

En la revisión realizada no se encontró ningún trabajo que abordara mediante la dinámica de sistemas, el estudio de la logística inversa de las llantas. Por tanto, este trabajo busca ser un primer esfuerzo en esta dirección.

## VII. CONCLUSIONES

La política ambiental de aumentar la tasa de recolección de llantas usadas disminuye la cantidad de estas a los rellenos sanitarios, teniendo así más llantas a reencauchar, coprocesar o a triturar. Se puede evidenciar entonces que aumentar el porcentaje de recolección de llantas usadas, si disminuye el volumen ocupado en los rellenos sanitarios o a la incineración de estas.

Adicional, entre mayor sea el número de llantas a coprocesar, mayor será la emisión de CO<sub>2</sub>, esto se evidencia en la línea de tendencia del escenario 2 frente al escenario 1.

Aunque se piensa que la trituración es la disposición más amigable con el medio ambiente, debido a que esta no genera emisiones en forma de gases, al implementarse la política de disposición a trituración, el consumo de energía para llevar a cabo la actividad, se elevaría considerablemente debido a que habrá mayor cantidad de llantas dispuestas a este proceso.

Con este estudio se recomienda a las empresas importadoras y productoras de llantas, a hacerse cargo de la disposición final de las llantas, donde no permitan que estas sean depositadas en rellenos sanitarios o en áreas públicas que incomodan a la sociedad, y afecta la salud de las comunidades. Así entonces, implementar un proceso de logística inversa dentro de sus procesos contribuye al medio ambiente que les genera una imagen verde mientras cumplen con las normativas gubernamentales. En este sentido el estudio podría considerarse como una herramienta en la toma de decisiones de los residuos de llantas.

## REFERENCIAS

[1] D. Cabeza, "Logística inversa en la gestión de la cadena de suministros", Marge books, Barcelona, 2012.  
 [2] G. Acurio, A. Rossin, P. Teixeira, C. Francisco, "Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe", Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana  
 [3] Resolución 1457 de 2010, "Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras disposiciones, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, Julio, 2010.

[4] T. Pohlen, & M. Farris II, "Reverse Logistics in plastic recycling", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, p. 35-47, 1992.

[5] B. Morales, "La Logística Reversa o Inversa, Aporte al Control de Devoluciones y Residuos en la Gestión de la Cadena de Abastecimiento", Legiscomex, Disponible en internet: <http://www.legiscomex.com/BancoMedios/Archivos/la%20logistica%20reversa%20o%20inversa%20basilio%20Oballi.pdf>

[6] ANLA, "Glosario Subdirección de Evaluación y Seguimiento", Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, Disponible en internet: <http://www.anla.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=12921&catID=41>

[7] G. Espinoza, "Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental", Programa de Apoyo para el Mejoramiento de la Gestión Ambiental en los Países de América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, 2007.

[8] Salinas, G. A., Moreno, A. V., & Osorio, J. C. "Impacto del material reciclado en los inventarios de materias primas de una empresa manufacturera" Revista EIA, 91-101, 2013.

[9] L. Izquierdo, J. Galán, J. Santos, & Olmo Del R, "Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas". Revista de metodología de ciencias sociales, p., 85-112, 2008.

[10] J. Forrester, "Industrial Dynamics", Cambridge: MIT Press, 1961.

[11] P. V. Arroyo, M. Villanueva, J. Gaytán, & M. García "Simulación de la tasa de reciclaje de productos electrónicos, Un modelo de dinámica de sistemas para la red de logística inversa", Contaduría y Administración, p. 9-41, 2012.

[12] K. Noguera, & J. Olivero, "Los Rellenos Sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano", 2010.

[13] R. Gómez, "Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad", Producción + Limpia, 2010.

[14] Cámara de Comercio de Bogotá, "Guía para el manejo de llantas usadas", Bogotá, 2006.

[15] Secretaria Distrital de Ambiente, "Diagnóstico ambiental sobre el manejo de llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Santa Fe de Bogotá", Disponible en internet: <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>

**Santiago Camargo Rodríguez:** Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle sede Buga, Valle del Cauca- Colombia.

**Jessica Andrea Franco López:** Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle sede Buga, Valle del Cauca- Colombia.

**Vivian Lorena Chud Pantoja:** Estudiante de Maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial, Universidad del Valle. Ingeniera Industrial, Universidad del Valle. Docente de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle.

**Juan Carlos Osorio Gómez:** Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad del Valle. Especialista en Logística, Universidad del Valle. Ingeniero Industrial, Universidad del Valle. Profesor titular. Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle.



## 18. AN APPROACH FROM SYSTEM DYNAMICS TO THE ADOPTION OF E-GOVERNMENT

**DELIO SALGADO, GABRIEL AWAD**

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia,  
dlsalgadoc@unal.edu.co, gawad@unal.edu.co

### ABSTRACT

The e-government has become a main research topic in recent years, given the importance for the countries and the multiple benefits for the stakeholders. The investigations has tried to model the adoption of e-government using multiple tools, however, these tools may not adequately capture the process. This paper presents a model that seeks to represent the process of adoption of e-government by citizens through system dynamics.

**KEYWORDS:** e-government, adoption, modeling, simulation, system dynamics.

### I. INTRODUCCIÓN

L e-government puede definirse como el uso de las tecnologías de la información y la comunicación por parte del gobierno con el propósito de contribuir a la construcción de un Estado más eficiente, más transparente y participativo prestando mejores servicios con la colaboración de la sociedad [1], así como para diseñar nuevas prácticas de procesamiento de información o rediseñar las existentes, a fin de lograr un mejor gobierno, especialmente en el campo de la prestación de servicios electrónicos a empresas y ciudadanos [2].

La implementación y el uso de nuevas tecnologías poseen gran capacidad de fomentar el desarrollo sostenible en el mundo, de la misma manera, se afirma que el e-government puede ser un motor de desarrollo económico todos los países [3], por tal motivo alrededor de 190 lo emplean de alguna forma [3]. Las investigaciones sobre los beneficios de la implementación exitosa de e-government son múltiples. Se han comprobado de manera empírica los beneficios del e-government en eficiencia [4]–[6], corrupción y transparencia [5]–[9], y mejora de servicios [4], [10]. Lo anterior coincide con los objetivos de la implementación de e-government en Colombia, en términos de eficiencia, transparencia y mejores servicios [11].

La aceptación de e-government depende de múltiples variables [12], el e-government posee innumerables aspectos, incluyendo temas sociales, técnicos, económicos, políticos y de administración pública [1], [13], así como nivel de desarrollo económico y tecnológico, enfoque de gestión, estructura organizacional, y capital humano [1], [14], es por ello que la adopción y difusión del e-government es a menudo obstaculizada o facilitada por muchos elementos, sociales e individuales, generalmente relacionados con los ciudadanos [15]. Se han realizado muchas investigaciones acerca de los factores influyentes en la adopción de e-government, en los cuales se han establecido relaciones causales entre múltiples variables ya sea para ciudadanos [16]–[18] o empresas [19].

Así mismo se han hecho variados esfuerzos para tratar de modelar el proceso de adopción de e-government, utilizando diversos modelos encontrados en la literatura, generalmente se usan principios de adopción de innovaciones tecnológicas, siendo esto lógico, teniendo en cuenta que el e-government es en sí una tecnología, algunos de ellos son: modelo de aceptación o adopción tecnológica (TAM), teoría de difusión de innovaciones (DOI), teoría uniforme de adopción y uso de tecnología (UTAUT) y la teoría de comportamiento planificado (TPB) [20], [21]. Para modelar adopción de e-government ha sido utilizado TAM [21], [22], también se

ha implementado DOI [23] al igual que UTAUT y TPB [24], [25].

A pesar de lo anterior, y de los notables avances en el campo del modelado de la adopción de e-government, es posible que los modelos anteriormente expuestos, TAM, DOI, TPB, no puedan capturar la esencia completa en adopción de e-government [13].

La comprensión de la adopción de e-government puede ayudar a entender y resolver, hasta cierto punto, los problemas de oferta y demanda de e-government anteriormente planteados, con el propósito de aprovechar los aspectos positivos de la adopción, así como los objetivos de la implementación de e-government, proporcionando innumerables ventajas en términos de eficiencia, disponibilidad de información, costos y retorno de inversión [3].

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: en la Sección II. Se muestra el problema real a tratar, la Sección III. Justifica la utilización de la dinámica de sistemas como metodología de modelado y simulación, en la Sección IV. Se desarrolla el modelo, la hipótesis dinámica, variables, diagramas causales y de flujos y niveles, estructura y parámetros iniciales. En la Sección V. se pueden observar los resultados preliminares de la simulación.

## II. EL PROBLEMA DE LA ADOPCIÓN DE EGOVERNMENT EN COLOMBIA.

La implementación de e-government, como política pública en Colombia, empieza con la publicación del documento Conpes 3072: "Agenda de Conectividad" en el año 2000, en donde se instauran las primeras bases del gobierno electrónico para el país, a través de una de sus estrategias: "Gobierno en Línea" [26], posteriormente se crea el Decreto 1151 del 14 de Abril de 2008 (derogado) y el Decreto 2693 de 2012 (vigente) en donde se establecen los lineamientos generales de la Estrategia de Gobierno En Línea de la República de Colombia [11], [27].

A partir del monitoreo de dichas actividades se han identificado un problema de demanda por parte de los ciudadanos, o de manera general, dificultad de adopción de e-government, por parte de sus usuarios [28], [29].

El problema de demanda se evidencia en los indicadores de los usuarios de la estrategia Gobierno en

Línea, las cuales se encuentran en la TABLA I, los resultados no son los esperados, los índices están en un nivel medio, por debajo de lo presupuestado, [28], [29]. Cabe anotar que es un índice compuesto y que no refleja el uso o a la adopción, y que después del año 2013 sólo se han publicado estudios cualitativos.

TABLA I. ÍNDICE DE GOBIERNO EN LÍNEA PARA CIUDADANOS.

FUENTE: [28], [29]

Años	2008	2009	2010	2011	2012
Índice para ciudadanos	29	33	46	49	55

Para los ciudadanos, según el estudio de Gobierno en Línea, el principal obstáculo para la adopción y utilización de herramientas y servicios, corresponde a la alta percepción de inseguridad tanto de los canales electrónicos como de realizar trámites por medio de ellos, así mismo la cobertura en estratos bajos dificulta la adopción y difusión de los diferentes servicios y trámites que se ofrecen por medios electrónicos. Existen además otros limitantes importantes, entre las cuales se pueden mencionar, la falta de interés por relacionarse con las entidades, no tener acceso a los servicios, independientemente del canal, y la falta de conocimiento de cómo funciona [28], [29].

## III. ¿POR QUÉ UN MODELO EN DINÁMICA DE SISTEMAS?

Para el proceso de adopción tecnológica en general, se han utilizado diferentes modelos desde el punto de vista sistémico, que tratan de explicar la reacción del mercado al introducir una nueva tecnología o innovación, analizando cómo se difunde a través de un sistema social [30].

Los modelos de simulación, más específicamente, los modelos de dinámica de sistemas han sido ampliamente utilizados y poseen gran tradición en el modelado de fenómenos sociales desde la aparición formal de la metodología [31], [32]. Un enfoque sistémico en los procesos tecnológicos e innovadores, se basa en la presunción de que dichos procedimientos no se pueden tratar o descomponerse como temas o variables aisladas, que tienen lugar dado un comportamiento lineal y subsecuente, la explicación de los procesos tecnológicos que se muestran de manera lineal se han dejado a un lado, y se ha hecho tránsito a análisis dinámicos [33].

Como se había ya mencionado, los procesos de adopción de e-government, dependen de un sinnúmero de variables [12], el e-government posee innumerables aspectos, incluyendo sociales, técnicos, económicos, políticos y de administración pública [1], [13], a diferencia de los canales de relación tradicionales gobierno-ciudadano, gobierno- industria, el e-government es un sistema no lineal [34].

La mayoría de estudios sobre adopción de e-government suelen centrarse en modelos estáticos que miden todos los conceptos al mismo tiempo, en lugar de capturar adecuadamente la interacción dinámica entre el medio ambiente, la percepción de los individuos y el comportamiento en el proceso de adopción de tecnologías [35]. Para el entendimiento profundo de la adopción de e-government, se necesitan marcos dinámicos integrales, que podrían ayudar en el avance de las teorías de adopción o difusión, es indispensable la aparición de estudios que muestren la adopción de e-government desde un punto de vista sistémico -dinámico [36].

#### IV. MODELO.

Dada la selección el enfoque sistémico para el modelado y la simulación, se plantea entonces como metodología la dinámica de sistemas para modelar la adopción de e-government.

Sterman plantea una secuencia de pasos en el modelado desde el enfoque de dinámica de sistemas. A continuación se presenta dicha secuencia [31]:

- Articulación del problema.
- Formulación de hipótesis dinámica.
- Formulación del modelo de simulación.
- Pruebas sobre el modelo.
- Planteamiento de políticas.

La articulación del problema se mostró en la sección II.

##### **A. Formulación de la hipótesis dinámica.**

Para la formulación de la hipótesis dinámica se hace uso de variables importantes encontradas en la literatura acerca de la adopción de e-government por parte de los ciudadanos, dichas variables se encuentran en la TABLA II.

Las variables han sido clasificadas en variables de percepción, y variables sociodemográficas de acuerdo a lo encontrado en las investigaciones revisadas, en donde en general la variable intención de uso y el uso

actual se utilizan como variables dependientes, y las variables desde la confianza en internet hasta la calidad de los servicios se han utilizado como variables independientes o explicativas.

**TABLA II. VARIABLES IMPORTANTES EN LA ADOPCIÓN DE EGOVERNMENT.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Variable	Clasificación
Intención de uso	Variable de percepción
Variable	Clasificación
Uso actual (adopción)	N/A
Confianza en internet	Variable de percepción
Seguridad percibida	Variable de percepción
Facilidad de uso percibida	Variable de percepción
Brecha digital	Variable sociodemográfica
Confianza en el gobierno	Variable de percepción
Acceso a internet	Variable sociodemográfica
Nivel de educación	Variable sociodemográfica
Confianza percibida	Variable de percepción
Imagen	Variable de percepción
Calidad del servicio	Variable de percepción

La calidad de los servicios que se define desde la percepción, como el grado en que un individuo cree que los servicios prestados mediante e-government funcionan de manera adecuada [37], con características de precisión, tiempo (oportuno) y sin ambigüedades [38]. La calidad de los servicios aumenta la intención de uso [34], [39] y la utilidad percibida [37].

La imagen, está definida a través del grado en el que el uso de una innovación se percibe como motivo de mejora de status en un sistema social [37] o simplemente como símbolo de dicho status [34]. A mayor imagen más utilidad percibida [37] y mayor intención de uso [34], [40] y por lo tanto mayor adopción de e-government [39].

La confianza percibida se refiere a la creencia de que la promesa de un individuo o grupo puede ser creíble o confiable [37], [41].

La confianza percibida posee dos precedentes, la confianza en internet, que está asociada a la confianza basada en una institución, debido a las comunidades que existen en internet son variadas, de acuerdo a sus normas, expectativas y valores [42], y la confianza en el gobierno, que tiene que ver con la creencia de los ciudadanos en la capacidad de un organismo en brindar servicios, más específicamente, servicios en línea [34], [42].

La confianza percibida tiene incidencia en la intención de uso, si existe mayor grado de confianza, mayor será la intención de uso [20], [37], y el uso actual [13]. Mientras mayor sea el grado de confianza en el internet mayor será la confianza percibida [20] y mayor será la intención de uso [42].

El nivel de educación, conceptualizado cómo el último grado de educación obtenido, se relaciona con la adopción y con la brecha digital, de esta manera a mayor nivel de educación de un individuo o población mayor será la adopción de e-government [43]–[45] y a mayor nivel de educación menor será la brecha digital [46]. La brecha digital, definida como la diferencia socioeconómica entre las poblaciones que tienen acceso a internet, y las que no, posee vínculos con algunos factores, es así como una gran brecha digital ocasiona menor adopción de e-government [41].

El acceso a internet es otro aspecto relevante, de esta manera a mayor acceso a internet menor será la brecha digital y la adopción de e-government crecerá [44].

La brecha digital, se conceptualiza como la diferencia socioeconómica entre las poblaciones que tienen acceso a internet, y las que no. A mayor brecha digital menor acceso a internet, además, se vincula con la adopción, y la confianza en el gobierno, es así como una gran brecha digital ocasiona menor adopción de e-government [41].

La seguridad percibida, se refiere a la creencia de un usuario que un proveedor implementará medidas de seguridad tales como la autenticación y la encriptación [40]. A mayor seguridad percibida más confianza percibida [13] y mayor intención de uso [40], [47]. La privacidad de los datos, concepto perteneciente a la seguridad percibida, afecta de igual forma el uso actual de e-government [39].

La facilidad de uso percibida se define como el grado en que una persona cree que usando un sistema en particular realizará menos esfuerzo para desempeñar sus tareas [34], [42], [43], [48]. A mayor facilidad de uso percibida, mayor intención de uso de e-government [34], [39], [40], [42]. Esta variable actúa sobre el uso actual de servicios de e-government [43].

Intención de uso conceptualizada como el grado en que una persona o ciudadano tiene la intención de utilizar o adoptar una tecnología, para el caso aplicado, sería el grado de intención de usar herramientas de e-government [15], [48]. La intención de uso afecta

directamente el uso actual de una nueva tecnología, o el uso actual de e-government [15], por otro lado, a mayor adopción, mayor intención de uso [38].

### B. Diagramas causales.

Dadas las relaciones causales mostradas en el numeral anterior, (IV. A. ), se presenta un diagrama causal básico que representan los vínculos entre las variables de manera gráfica.

En la Figura 1, se observa el diagrama causal básico, atendiendo a la hipótesis dinámica teórica planteada en IV. A. En este diagrama causal se observan tres ciclos realimentación, B1, B2 y R respetivamente. El ciclo B1 corresponde a un ciclo de balance, relaciona las variables adoptantes potenciales, tasa de adopción e intención de uso, el ciclo B2, de balance también, corresponde a las adoptantes actuales, tasa de abandono y exusuarios. El ciclo R, de refuerzo, relaciona las variables tasa de adopción, adoptantes actuales, imagen y adopción por norma social.



Figura 1. Diagrama causal básico. Fuente: elaboración propia con base en hipótesis dinámica teórica.

En el diagrama causal de variables de percepción, la mayoría de las de las variables afectan la intención de uso, excepto la el uso afecta el uso actual de servicios de e-government [43].

La seguridad percibida, medida desde el punto de vista de la seguridad de los datos, afecta directamente el uso actual [39].

### C. Flujos y niveles.

#### 1) Dinámica poblacional.

La dinámica poblacional se basa en el trabajo de Bass "A new product growth for model consumer durables" [49], considerado un modelo de difusión, dado que funciona sobre el supuesto de la transmisión de información entre los consumidores. Stermán, utiliza el modelo de Bass y propone un modelo de difusión, realizando un símil con la propagación de una infección. La dinámica poblacional utilizada en dichos modelos, que se divide en adoptantes potenciales y adoptantes, será la base para el presente modelo, se puede

observar en la Figura 2. De una población de adoptantes potenciales fluye una cantidad de personas, a través de una tasa de adopción, hacia los adoptantes o usuarios actuales [31].

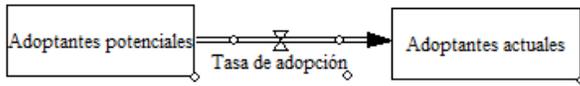


Figura 2. Dinámica poblacional base. Fuente: elaboración propia con base en: [31], [49]. Software: VensimPLE [50].

Adicional a lo mostrado en la Figura 2, se propone adicionar a la dinámica poblacional, un nivel de ex – usuarios; de los adoptantes actuales, existen usuarios que dejan de utilizar los servicios de e-government, dichos usuarios fluyen desde los adoptantes actuales a través de una tasa de abandono.

Las tasas de abandono en el e-government han sido estudiadas desde el punto de vista organizacional y teniendo en cuenta el lado de la oferta de servicios, [51]. Desde el punto de vista del usuario no se encontraron trabajos al respecto, sin embargo, es un tema de estudio importante, en el análisis de cambio entre servicios de los usuarios, en el análisis de comportamiento de consumidor y marketing [52], [53], y desde tópicos tecnológicos, como blogs [54], [55], servicios de salud en línea [56], redes sociales [57], entre otros temas [58].

Es posible que existan consumidores que vuelvan a utilizar egovernment, después de pertenecer a ex usuarios, por lo que en el modelo propuesto se agrega un flujo de salida a ex usuario, que entra a usuarios actuales a través de una tasa de readopción, dicho flujo de sustenta en los estudios que analizan el uso continuo de e-government. Se ha estudiado factores que afectan el uso continuo de e-government, desde el modelo TAM [59], [60], usando la teoría de confirmación de expectativas [61], utilizando el modelo de éxito de los sistemas de información [62], entre otros [63].

Dado la dinámica poblacional base, la población de ex usuarios y los flujos asociados, sustentados anteriormente, se muestra la dinámica poblacional en la Figura 3.

**2) Flujos.**

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 3, el modelo propuesto posee tres flujos, que relacionan las poblaciones del sistema como sigue:

- Tasa de adopción: flujo de salida de adoptantes potenciales y de entrada a adoptantes actuales. Será función de “adoptantes actuales” y de una variable A1,
- en el intervalo [0, 1], que determina la adopción. (Ver Figura 4)
- Tasa de abandono: flujo de salida de adoptantes actuales y de entrada a exusuarios. Será función de “adoptantes actuales” y de una variable A2, en el
- intervalo [0, 1], que determina el abandono. (Ver Figura 4)
- Tasa de readopción: flujo de salida de exusuarios y de entrada a adoptantes actuales. Será función de “exusuarios” y de una variable A3, en el intervalo [0, 1], que determina la readopción. (Ver Figura 4)

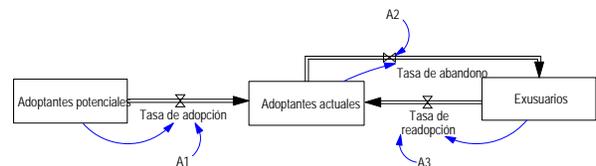


Figura 4. Dinámica poblacional y flujos. Fuente: elaboración propia con base en software Vensim PLE. [50]

**a) Modelado tasa de adopción.**

Dado que la intención de uso afecta directamente la adopción o uso actual de una nueva tecnología, de e-government, a mayor intención de uso mayor adopción [15], se utilizará la intención de uso y los factores que afectan dicha intención como representación de la variable A1. De esta manera, y según los diagramas causales, la intención de uso se dividirá entre intención de uso por norma social, e intención de uso por otras fuentes. Cabe resaltar que sólo se tienen en cuenta las variables mostradas en la TABLA II.

Se utilizará una estructura de variables desarrollada a través de un modelo estructural interpretativo, como interpretación de la intención de uso, y las relaciones causales entre factores que lo anteceden, el desarrollo del modelo estructural interpretativos no se muestra en este trabajo por razones de extensión.

**b) Tasa de abandono y readopción.**

Anteriormente se mencionó que la tasa de readopción será función de los exusuarios y de una variable A3 que determina el grado en que los exusuarios vuelven a utilizar e-government. Dado que el uso continuo de e-government, se ha estudiado a través de los modelos de adopción y difusión expuestos en la introducción de este

trabajo, y que las variables que afectan dicho uso continuo coinciden con las utilizadas para modelar la intención de uso [59], [60], la variable A3 se modelará con la intención de uso y un factor de corrección que representa el cambio de actitud del usuario después de haber utilizado e-government y además haber dejado de utilizarlo, estos dos factores conformarán la intención de reuso.

Cómo se había mencionado la tasa de abandono depende la población de adoptantes actuales y de una variable A2, que llamará intención de abandono, dicha variable determina el grado de desuso de e-government. La variable A2 se dejará como parámetro indeterminado en el modelo, con valores en el intervalo [0, 1], ya que, no se encontraron estudios que analicen factores de abandono de e-government desde la perspectiva del usuario. El modelo de flujos y niveles completo se puede observar en Apéndice A.

### 3) Estructura del modelo y condiciones iniciales.

En la especificación de la estructura se presentarán las ecuaciones que representan el comportamiento del sistema, tanto para los flujos de entrada y salida como para las diferentes variables que se tienen en cuenta en el modelo.

TABLA III. ECUACIONES PARA LOS FLUJOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Variable	Tipo	Ecuación
Tasa de adopción	Flujo	Intención de uso por otras fuentes + Intención de uso por norma social
Tasa de abandono	Flujo	A2*Adoptantes actuales
Tasa de readopción	Flujo	Intención de reuso*Exusuarios

En la TABLA III, se muestran las ecuaciones para los flujos del modelo propuesto, la tasa de adopción es función de la intención de uso por otras fuentes y la intención de uso por norma social. La tasa de abandono dependerá de los adoptantes actuales y de una variable A2, que determina el grado en que las personas dejan de usar e-government. La tasa de adopción obedece al comportamiento entre los exusuarios y una intención de reuso.

TABLA IV. ECUACIONES PARA NIVELES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Variable	Tipo	Ecuación
Adoptantes potenciales	Nivel	INTEGRAL (-Tasa de adopción)

Adoptantes actuales	Nivel	INTEGRAL (Tasa de adopción - Tasa de abandono + Tasa de readopción)
Exusuarios	Nivel	INTEGRAL (Tasa de abandono - Tasa de readopción)

En la TABLA IV, se muestran las ecuaciones para los niveles, dado la naturaleza tipológica de dichas variables, las ecuaciones de cada uno de los niveles está dada por la integral de los flujos de entrada menos los flujos de salida con respecto al tiempo.

En la TABLA V se muestran las ecuaciones para las variables auxiliares, desde el factor nivel de educación, hasta la variables A2 (intención de abandono), no poseen variables que las anteceden en un nivel inferior, (ver Apéndice A.) por lo tanto en el modelo de dinámica de sistemas se tomarán como variables en el intervalo [0, 1], según sea el caso de estudio.

A partir del el diagrama de flujos y niveles, Apéndice A., las variables brecha digital hasta la confianza percibida se modelarán en función de las variables antecesoras de nivel inferior y un valor inicial de la propia variable, es así como por ejemplo, la brecha digital está en términos del nivel de educación, el acceso a internet y un valor inicial de brecha digital.

La intención de uso depende directamente de la calidad de servicio, la confianza percibida, la facilidad de uso percibida y la imagen, sin embargo, dada la estructura del modelo, depende indirectamente de las demás variables.

Como se había mencionado anteriormente, la tasa de readopción dependerá de las mismas variables que la tasa de adopción, lo que significa que la intención de reuso será función de la intención de uso y un factor de corrección.

Inicialmente se toman las relaciones entre las variables como una productoria, lo que significa que existe cierta interacción entre las variables para poder llegar a la intención, sin embargo, este es un supuesto dentro del modelo, con el propósito de observar comportamiento; se podrían analizar las relaciones entre las variables de acuerdo a otro tipo de supuestos y funciones

TABLA V. ECUACIONES PARA AUXILIARES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Variable	Tipo	Ecuación
Nivel de educación	Auxiliar	[0, 1] Con valor inicial.
Acceso a internet	Auxiliar	[0, 1] Con valor inicial.
Seguridad percibida	Auxiliar	[0, 1] Con valor inicial.
Confianza en internet	Auxiliar	[0, 1] Con valor inicial.
Facilidad de uso percibida	Auxiliar	[0, 1] Con valor inicial.
Imagen	Auxiliar	[0, 1] Con valor inicial.
Calidad de servicio	Auxiliar	[0, 1] Con valor inicial.
Factor de corrección	Auxiliar	[0, 1] Con valor inicial.
A2 (intención de abandono)	Auxiliar	[0, 1] Con valor inicial.
Brecha digital	Auxiliar	Nivel educación*Acceso a internet*Valor inicial brecha digital
Confianza en el gobierno	Auxiliar	Brecha digital*Valor inicial confianza en el gobierno
Confianza percibida	Auxiliar	Confianza en el gobierno*Confianza en internet*Seguridad percibida*Valor inicial confianza percibida
Intención de uso por otras fuentes	Auxiliar	Calidad de servicio*Confianza percibida*Facilidad de uso percibida*adoptantes potenciales
Intención de uso por norma social	Auxiliar	(Adoptantes potenciales*contacto social)*(Adoptantes actuales/población total)*imagen
Intención de reuso	Auxiliar	Factor de corrección*Intención de uso

Para la estimación de parámetros y las condiciones iniciales de simulación se usarán principalmente datos del monitoreo de gobierno en línea en Colombia [28], [64], mencionando que, no todas las variables han sido medidas, y los datos encontrados son simples estimaciones o acercamientos a la medición de la variable, la mayoría de indicadores están en un rango [0, 1] o [0%, 100%], lo que justifica los supuestos de comportamiento de las variables. Para los datos que no se encuentran en la aplicación de dicho monitoreo, se usarán datos de fuentes oficiales. Dado lo anterior, la

simulación se comportará como un estudio de caso, para el gobierno en línea en Colombia. Los datos del monitoreo de gobierno en línea se tomarán del informe de 2011, dado la completitud de la información [64]. En la TABLA VI, se encuentra el resumen de las condiciones iniciales en los parámetros.

TABLA VI. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS Y CONDICIONES INICIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Variable	Valor inicial	Fuente
Nivel de educación	48%	(MinEducación, 2015); [66]
Acceso a internet	22%	(DANE, 2006; MinTIC, 2015)
Seguridad percibida	59%	(MinTIC, 2011)
Confianza en internet	44%	(MinTIC, 2011)
Facilidad de uso percibida	87%	(MinTIC, 2011)
Imagen	Indeterminado = [0, 1]	No aplica
Calidad de servicio	86%	(MinTIC, 2011)
Factor de corrección	Indeterminado = [0, 1]	No aplica
A2 (intención de abandono)	Indeterminado = [0, 1]	No aplica
Brecha digital	56%	[69],
Confianza en el gobierno	69%	[64]
Confianza percibida	56%	[64]
Intención de uso	No aplica	No aplica
Intención de reuso	No aplica	No aplica
Adoptantes potenciales	35340382	[67]
Adoptantes actuales	28% de los potenciales	[64]
Exusuarios	0	No aplica

## V. RESULTADOS DE SIMULACIÓN.

En la Figura 5 se pueden observar el gráfico de comportamiento de la adopción para la simulación base, con adoptantes actuales a través de un horizonte de simulación diario, de 3000 días.

Para los adoptantes actuales se observa una curva en forma de S, con menor progresión al inicio de los periodos de tiempo, reproduciendo las curvas de adopción para innovaciones tecnológicas que se encuentran en la literatura [70]. La curva de adoptantes actuales posee una asíntota superior dada por la disminución en la tasa de adopción que baja en el tiempo, y los adoptantes potenciales, además de la interacción entre las tasas de abandono y readopción.

Para los exusuarios se observa una curva creciente, inicialmente los exusuarios muestran un crecimiento bajo, dado por la población de adoptantes actuales, que aumenta según los períodos de tiempo. La tasa de abandono va subiendo en los períodos de tiempo, a causa del aumento de los adoptantes actuales.

Con respecto a los adoptantes potenciales, se observa una curva decreciente, la disminución continua está dada por la tasa de adopción, flujo de salida del nivel de adoptantes potenciales. La tasa de adopción disminuye a través del tiempo dada la disminución en la población de adoptantes potenciales.

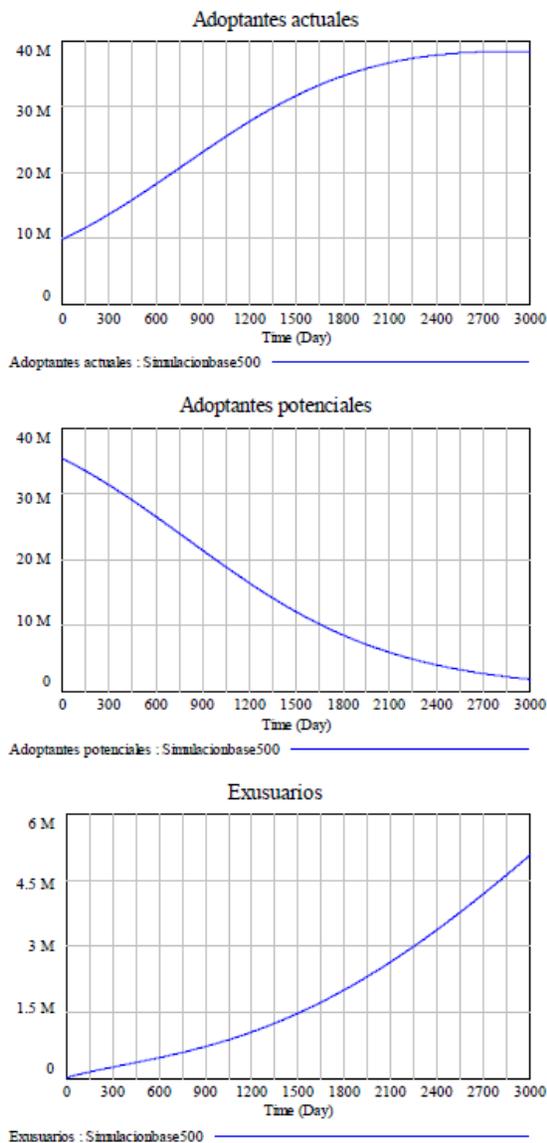


Figura 5. Resultados simulación. Fuente: VensimPLE [50].

## VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.

Dado el propósito del modelo de facilitar el entendimiento de la adopción de e-government por parte del ciudadano, mediante el análisis de comportamientos, y mostrando las relaciones planteadas entre las variables y los supuestos implicados, se da la construcción de una hipótesis dinámica basada en conocimientos teóricos y empíricos encontrados en la literatura, sustentando así las conexiones entre factores.

La utilización de evidencia académica, así como el acercamiento a los parámetros a partir de mediciones de fuentes oficiales, brinda un modelo con un grado de robustez y confiabilidad considerable.

Los modelos en dinámica de sistemas, no se construyen para la predicción de cifras, si no con el propósito brindar un marco de entendimiento del sistema estudiado, es por ello que para la adopción de e-government, se muestran variables que afectan dicho proceso hipotéticamente, mostrando herramientas para la toma de decisiones de cualquier interesado.

Los resultados de las simulaciones iniciales muestran comportamientos diferentes en las variables tipo nivel, dado la agregación de factores que pueden ser importantes en el proceso de adopción.

Es importante explorar nuevas relaciones entre variables, así como la estructura matemática del modelo a partir de trabajo de campo o estudios relevantes.

Es importante analizar la sensibilidad del modelo, así como la realización de pruebas o test que ayuden a crear validez.

## REFERENCIAS

- [1] O. E. M. Khalil, "E-government readiness: does national culture matter?," *Gov. Inf. Q.*, vol. 28, no. 3, pp. 388–399, Jul. 2011.
- [2] V. Bekkers, "Why does e-government looks as it does ? looking beyond the explanatory emptiness of the e-government concept," *Inf. Polity*, vol. 17, pp. 329–342, 2012.
- [3] Naciones Unidas, "Estudio de las Naciones Unidas sobre Gobierno Electrónico, 2012. Gobierno electrónico para el pueblo." pp. 1–196, 2012.
- [4] M. Miyata, "Measuring impacts of e-government support in least developed countries: a case study of the vehicle registration service in Bhutan," *Inf. Technol. Dev.*, vol. 17, no. 2, pp. 133–152, Apr. 2011.

- [5] S. Krishnan and T. S. H. Teo, "Moderating effects of governance on information infrastructure and e-government development," *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.*, vol. 63, no. 10, pp. 1929–1946, 2012.
- [6] Y.-C. Chen, "A comparative study of e-government XBRL implementations: the potential of improving information transparency and efficiency," *Gov. Inf. Q.*, vol. 29, no. 4, pp. 553–563, Oct. 2012.
- [7] N. G. Elbahnasawy, "E-government, internet adoption, and corruption: an empirical investigation," *World Dev.*, vol. 57, no. 5, pp. 114–126, May 2014.
- [8] K. McGrath and A. Maiye, "The role of institutions in ICT innovation: learning from interventions in a Nigerian e-government initiative," *Inf. Technol. Dev.*, vol. 16, no. 4, pp. 260–278, Oct. 2010.
- [9] J. C. Bertot, P. T. Jaeger, and J. M. Grimes, "Using ICTs to create a culture of transparency: e-government and social media as openness and anti-corruption tools for societies," *Gov. Inf. Q.*, vol. 27, no. 3, pp. 264–271, Jul. 2010.
- [10] P. Bertot, Jaeger, U. Gorham, N. G. Taylor, and R. Lincoln, "Delivering e-government services and transforming communities through innovative partnerships: public libraries, government agencies, and community organizations," *Inf. Polity*, vol. 18, no. 2, pp. 127–138, 2013.
- [11] Ministerio De Tecnologías de la Información y las Comunicaciones República de Colombia, Decreto Número 2693 de 2012. Colombia, 2012, pp. 1–10.
- [12] M. Alomari, P. Woods, and K. Sandhu, "Predictors for e-government adoption in Jordan: deployment of an empirical evaluation based on a citizen-centric approach," *Inf. Technol. People*, vol. 25, no. 2, pp. 207–234, 2012.
- [13] M. A. Shareef, V. Kumar, U. Kumar, and Y. K. Dwivedi, "E-government adoption model (GAM): differing service maturity levels," *Gov. Inf. Q.*, vol. 28, no. 1, pp. 17–35, Jan. 2011.
- [14] F. Çapar and Ö. F. Vural, "Obstacle to e-government: digital division," *Int. J. Hum. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 1674–1692, 2013.
- [15] V. Weerakkody, R. El-Haddadeh, F. Al-Sobhi, M. A. Shareef, and Y. K. Dwivedi, "Examining the influence of intermediaries in facilitating e-government adoption: an empirical investigation," *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 33, no. 5, pp. 716–725, Oct. 2013.
- [16] F. Bélanger and L. Carter, "Trust and risk in e-government adoption," *J. Strateg. Inf. Syst.*, vol. 17, no. 2, pp. 165–176, Jun. 2008.
- [17] K. J. Bwalya and M. Healy, "Harnessing e-government adoption in the SADC Region: a conceptual underpinning," vol. 8, no. 1, pp. 23–32, 2010.
- [18] R. El-Haddadeh, V. Weerakkody, and S. Al-Shafi, "The complexities of electronic services implementation and institutionalisation in the public sector," *Inf. Manag.*, vol. 50, no. 4, pp. 135–143, Jun. 2013.
- [19] J. Lee, H. J. Kim, and M. J. Ahn, "The willingness of e-government service adoption by business users: the role of offline service quality and trust in technology," *Gov. Inf. Q.*, vol. 28, no. 2, pp. 222–230, Apr. 2011.
- [20] S. Ozkan and I. E. Kanat, "E-government adoption model based on theory of planned behavior: empirical validation," *Gov. Inf. Q.*, vol. 28, no. 4, pp. 503–513, Oct. 2011.
- [21] L. Carter and V. Weerakkody, "E-government adoption: a cultural comparison," *Inf. Syst. Front.*, vol. 10, no. 4, pp. 473–482, May 2008.
- [22] F. Lin, S. S. Fofanah, and D. Liang, "Assessing citizen adoption of e-government initiatives in Gambia: a validation of the technology acceptance model in information systems success," *Gov. Inf. Q.*, vol. 28, no. 2, pp. 271–279, Apr. 2011.
- [23] L. Carter and F. Bélanger, "The utilization of e-government services: citizen trust, innovation and acceptance factors," *Inf. Syst. J.*, vol. 15, no. 1, pp. 5–25, Jan. 2005.
- [24] S. Al-Awadhi and A. Morris, "The use of the UTAUT model in the adoption of e-government services in Kuwait," in *Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2008)*, 2008, p. 219.
- [25] S.-Y. Hung, K.-Z. Tang, C.-M. Chang, and C.-D. Ke, "User acceptance of intergovernmental services: an example of electronic document management system," *Gov. Inf. Q.*, vol. 26, no. 2, pp. 387–397, Apr. 2009.
- [26] Departamento Nacional de planeación and Ministerio de Comunicaciones, "Documento conpes 3072: agenda de conectividad." Santa Fe de Bogotá., pp. 1–23, 2000.
- [27] Ministerio de Comunicaciones Republica de Colombia, Decreto Número 1151 de 2008. Colombia, 2008, pp. 1–4.
- [28] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones República de Colombia, "Aplicación de la Metodología de Monitoreo y Evaluación de Gobierno en línea 2012- Ciudadanos, Empresas, Entidades." pp. 1–68, 2012.

- [29] L. Gómez, A. Rodríguez, and Gobierno en línea, "El gobierno en línea en Colombia 2011." pp. 1–100, 2012.
- [30] E. Kiesling, M. Günther, C. Stummer, and L. Wakolbinger, "Agentbased simulation of innovation diffusion: a review," *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, vol. 20, no. 2, pp. 183–230, 2012.
- [31] J. Sterman, *Business Dynamics: systems thinking a modeling for a complex world*, 1st ed. Boston, MA, 2000.
- [32] L. Cadavid and C. J. Franco, "Dinámica de sistemas y agentes para el modelado de la difusión de dos innovaciones en competencia," in *X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas III Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas I Congreso Argentino de Dinámica de Sistemas*, 2012, pp. 1–10.
- [33] E. Samara, P. Georgiadis, and I. Bakouros, "The impact of innovation policies on the performance of national innovation systems: a system dynamics analysis," *Technovation*, vol. 32, no. 11, pp. 624–638, 2012.
- [34] R. Hussein, N. Mohamed, A. Rahman Ahlan, and M. Mahmud, "Egovernment application: an integrated model on G2C adoption of online tax," *Transform. Gov. People, Process Policy*, vol. 5, no. 3, pp. 225–248, Aug. 2011.
- [35] N. Zhang, X. Guo, and G. Chen, "Why adoption and use behavior of IT/IS cannot last? - two studies in China," *Inf. Syst. Front.*, vol. 13, no. 3, pp. 381–395, Oct. 2011.
- [36] H. Zhang, X. Xu, and J. Xiao, "Diffusion of e-government: A literature review and directions for future directions," *Gov. Inf. Q.*, vol. 31, no. 4, pp. 631–636, Oct. 2014.
- [37] S. Sang, J. Lee, and J. Lee, "E-government adoption in Cambodia: a partial least squares approach," *Transform. Gov. People, Process Policy*, vol. 4, no. 2, pp. 138–157, Jun. 2010.
- [38] A. Persaud and P. Persaud, "Rethinking e-government adoption: a user-focussed model," *Int. J. Electron. Gov. Res.*, vol. 9, no. 4, pp. 56–74, 2013.
- [39] M. Ovais Ahmad, J. Markkula, and M. Oivo, "Factors affecting e-government adoption in Pakistan: a citizen's perspective," *Transform. Gov. People, Process Policy*, vol. 7, no. 2, pp. 225–239, May 2013.
- [40] L. Carter, L. Christian Shaupp, J. Hobbs, and R. Campbell, "The role of security and trust in the adoption of online tax filing," *Transform. Gov. People, Process Policy*, vol. 5, no. 4, pp. 303–318, Aug. 2011.
- [41] F. Al-Sobhi, V. Weerakkody, and M. Mustafa, "An exploratory study on the role of intermediaries in delivering public services in Madinah City," *Transform. Gov. People, Process Policy*, vol. 4, no. 1, pp. 14–36, Mar. 2010.
- [42] R. Hussein, N. Mohamed, A. Rahman, M. Mahmud, and U. Aditiawarman, "G2C Adoption of in Malaysia: trust, perceived risk and political self-efficacy," *Int. J. Electron. Gov. Res.*, vol. 6, no. 3, pp. 57–72, 2010.
- [43] T. Nam, "Determining the type of e-government use," *Gov. Inf. Q.*, vol. 31, no. 2, pp. 3–10, Apr. 2014.
- [44] S. Taipale, "The use of e-government services and the Internet: the role of socio-demographic, economic and geographical predictors," *Telecomm. Policy*, vol. 37, no. 4–5, pp. 413–422, May 2013.
- [45] J. Choudrie, S. Grey, C. Haslam, and N. Tsitsianis, "Identifying adopters and non-adopters of Broadband amongst silver surfers: using BHPS," *Electron. Gov. an Int. J.*, vol. 8, no. 1, pp. 40–58, 2011.
- [46] A. Manoharan and T. J. Carrizales, "Technological equity: an international perspective of e-government and societal divides," *Electron. Gov. an Int. J.*, vol. 8, no. 1, pp. 73–84, 2011.
- [47] E. Abu-Shanab and A. Abu-Baker, "Evaluating Jordan' s e-government website: a case study," *Electron. Gov. An Int. Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 271–289, 2011.
- [48] J. L. Moreno-Cegarra, J. G. Cegarra-Navarro, and J. R. CórdobaPachón, "Applying the technology acceptance model to a Spanish City Hall," *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 34, no. 4, pp. 437–445, Aug. 2014.
- [49] F. Bass, "A new product growth for model consumer durable," *Manage. Sci.*, vol. 15, no. 5, pp. 215–227, 1969.
- [50] Ventana Systems Inc., "Vensim PLE. The ventana simulation environment." 2013.
- [51] L. F. Luna-Reyes and J. R. Gil-Garcia, "Using institutional theory and dynamic simulation to understand complex e-Government phenomena," *Gov. Inf. Q.*, vol. 28, no. 3, pp. 329–345, Jul. 2011.
- [52] A. Heyes and S. Kapur, "Angry customers, e-word-of-mouth and incentives for quality provision," *J. Econ. Behav. Organ.*, vol. 84, no. 3, pp. 813–828, Dec. 2012.
- [53] R. Lee and M. Mazodier, "The roles of consumer ethnocentrism, animosity, and cosmopolitanism in sponsorship effects," *Eur. J. Mark.*, vol. 49, no. 5/6, pp. 919–942, 2015.
- [54] K. Zhang, C. Cheung, and M. Lee, "Online service switching behavior: the case of blog service providers," *J. Electron. Commer. Res.*, vol. 13, no. 3, pp. 184–197, 2005.
- [55] J.-K. Hsieh, Y.-C. Hsieh, H.-C. Chiu, and Y.-C. Feng, "Postadoption switching behavior for online service substitutes: a perspective of the push-pull-mooring framework," *Comput. Human Behav.*, vol. 28, no. 5, pp. 1912–1920, Sep. 2012.

- [56] J.-Y. Lai and J. Wang, "Switching attitudes of taiwanese middleaged and elderly patients toward cloud healthcare services: an exploratory study," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 92, pp. 155–167, Jul. 2014.
- [57] Y.-L. Wu, Y.-H. Tao, C.-P. Li, S.-Y. Wang, and C.-Y. Chiu, "Userswitching behavior in social network sites: a model perspective with drill-down analyses," *Comput. Human Behav.*, vol. 33, pp. 92–103, Apr. 2014.
- [58] A. a. Shaikh and H. Karjaluo, "Making the most of information technology & systems usage: a literature review, framework and future research agenda," *Comput. Human Behav.*, vol. 49, pp. 541– 566, Aug. 2015.
- [59] S. Wangpipatwong, W. Chutimaskul, and B. Papatrorn, "Understanding citizen's continuance intention to use e-government website: a composite view of technology acceptance model and computer self-efficacy," *Electron. J. e-government*, vol. 6, no. 1, pp. 55–64, 2008.
- [60] C. Wang, "Antecedents and consequences of perceived value in mobile government continuance use: an empirical research in China," *Comput. Human Behav.*, vol. 34, pp. 140–147, May 2014.
- [61] M. Alruwaie, R. El-haddadeh, and V. Weerakkody, "A framework for evaluating citizens ' expectations and satisfaction toward continued intention to use e-government services," in *11th IFIP WG 8.5 International Conference, EGOV 2012*, 2012, pp. 273–286.
- [62] H. P. Tan, F. Tan, A. Mills, and W. Wang, "Information transparency and citizens ' continuous use intention of e-government services," in *The International Conference on Information Resources Management (Conf-IRM)*, 2014.
- [63] W. Li and Y. Pan, "Evaluating user satisfaction based on BP neural network in mobile government," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Software Engineering, Knowledge Engineering and Information Engineering*, 2014, no. Sekeie, pp. 43–47.
- [64] Ministerio De Tecnologías de la Información y las Comunicaciones República de Colombia and Centro Nacional de Consultoría, "Aplicación de la metodología de monitoreo y evaluación del programa gobierno en línea segmento: ciudadanos." p. 284, 2011.
- [65] Ministerio de Educación, "Niveles de la educación básica y media." 2015.
- [66] DANE, "Indicadores de educación. Resultados." 2005.
- [67] DANE, "Demografía y población. Estimaciones y proyecciones de población." 2006.
- [68] Ministerio De Tecnologías de la Información y las Comunicaciones República de Colombia, "Total de suscriptores de Internet." 2015.
- [69] Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Informe sobre medición de la sociedad de la información. Resumen ejecutivo.," Ginebra Suiza, 2014.
- [70] J. Sterman, "Systems dynamics modeling: tools for learning in a complex world," *Eng. Manag. Rev.*, vol. 30, no. 1, p. 42, 2002.

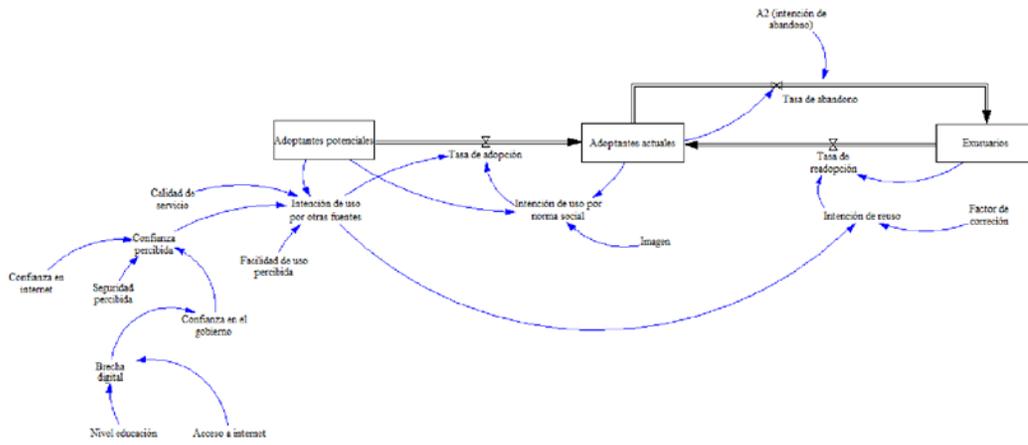


**Delio Salgado** Ingeniero Administrador de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Especialista en Ingeniería Financiera, estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas de la misma Universidad. Interesado en temas de investigación referente al modelado y la simulación de sistemas sociales.



**Gabriel Awad** Ingeniero Administrador de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Especialista en Política Económica de la Universidad de Antioquia. Magister en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia.

APÉNDICE A



## **19. ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL DE RECURSOS EN EL SUBSISTEMA DE BÚSQUEDA Y RESCATE DEL SISTEMA LOGÍSTICO HUMANITARIO COLOMBIANO A TRAVÉS DE UN MODELO DINÁMICO.**

**GERARDO RODRIGUEZ**

Universidad de la Sabana - Colombia  
gerardo.rodriguez1@unisabana.edu.co

**LEONARDO GONZALEZ**

Universidad de la Sabana - Colombia  
leonardo.gonzalez1@unisabana.edu.co

### **RESUMEN**

El presente trabajo busca analizar la relación que hay entre las estrategias de control aplicadas en sistemas logísticos humanitarios y el efecto que estas puedan tener sobre el tiempo de búsqueda y rescate de las víctimas y por consiguiente en la mortalidad causada por un desastre.

Inicialmente se realizó una caracterización del subsistema colombiano de búsqueda y rescate, con el fin de identificar las actividades involucradas, los responsables y los recursos utilizados. Seguidamente, a partir de revisión de literatura se elaboró un conjunto de estrategias de control de recursos para dicho subsistema.

Finalmente se realizó un Modelo Dinámico que integra las actividades, recursos, personal y variables que afectan al subsistema de búsqueda y rescate, con el fin de determinar la estrategia que produce menores tiempos de respuesta y por ende una disminución en la mortalidad, bajo condiciones de variabilidad. Este trabajo encontró que la estrategia de control más efectiva sobre el subsistema tiende al control continuo.

### **ABSTRACT**

The current work seeks to analyse the relation between the control strategies applied in humanitarian logistical systems, and the effect that these can have on the amount of time spend searching for and rescuing victims, and therefore in the number of deaths caused by the disaster.

Initially a characterisation of Colombian subsystems of search and rescue was carried out, in order to identify the activities involved, those who are responsible for them and the resources used. After this, by reviewing the writing, a group of resource control strategies for said subsystems are drawn up.

Finally, a Dynamic Model is carried out which integrates the activities, resources, staff and variables which affect the search and rescue subsystems, in order to determine the strategies which produces the quickest response time, and therefore a decrease in the number of deaths, under variable conditions. The work found that the control strategy that was most effective was the subsystem which tends to continuous control.

### CARACTERIZACIÓN DEL SUBSISTEMA COLOMBIANO DE BÚSQUEDA Y RESCATE

La caracterización del Sistema de búsqueda y rescate correspondiente al sistema logístico Humanitario colombiano, se basó en entrevistas a funcionarios, especialmente de la UNGRD y en la revisión de los documentos oficiales de las entidades involucradas.

En esta etapa se identificaron 17 actividades involucradas en el subsistema de apoyo de búsqueda y rescate, además se identificaron 10 tipos de recursos que son necesarios para el correcto funcionamiento del subsistema, se identificaron 3 variables endógenas y 5 exógenas.

Las Actividades del subsistema son las siguientes:

1. Recopilar la información de daños en el lugar de afectación
2. Definir las necesidades de recursos humanos y técnicos para el rescate
3. Coordinar, junto con el SA de Telecomunicaciones, la dotación de los miembros de las entidades con los equipos de comunicación
4. Activar y utilizar las redes y frecuencias de comunicación establecidas
5. Mantener registros de información actualizados y consolidar el sistema de recolección, análisis y procesamiento de datos
6. Realizar viajes de reconocimiento aéreo
7. Establecer procedimientos de manejo de lugares de recepción de elementos de búsqueda y rescate
8. Buscar, analizar y seleccionar lugares óptimos de recepción de elementos de búsqueda y rescate
9. Mediar el uso del lugar o lugares para la recepción de elementos de búsqueda y rescate
10. Identificar la disponibilidad de personal y equipos en las entidades de socorro, implicadas por proximidad a la zona y pedir ayuda en caso de ser necesario
11. Enviar personal y equipos a la zona del desastre
12. Definir medios de transporte y movilizar equipos de búsqueda y rescate
13. Cancelar vuelos nacionales
14. Definir aeropuertos y helipuertos estratégicos
15. Asignar operaciones aéreas para la atención del evento
16. Realizar operaciones de Búsqueda y Rescate
17. Prestar primeros auxilios y registrar la información de pacientes atendidos y remitidos a centros de salud.

Los recursos y personal involucrados en el subsistema son los siguientes:

1. Vehículos aéreos
2. Vehículos Fluviales
3. Vehículos terrestres
3. Médicos
4. Paramédicos
5. Camillas
6. Ambulancias
7. Grúas
8. Voluntario de organismos de socorro
9. Voluntarios con conocimientos en primeros auxilios.

Las variables endógenas que afectan el subsistema son:

1. Capacidad técnica y de coordinación de cada entidad involucrada en la ejecución de la actividad.
2. Capacidad técnica y de coordinación de cada persona responsable de la ejecución de la actividad.
3. Capacidad tecnológica de los sistemas de información utilizados en cada organización.

Las variables exógenas que afectan el subsistema son:

1. Condiciones climáticas.
2. Condiciones del terreno y estado de la infraestructura
3. Cantidad de personas afectadas
4. Colaboración de la comunidad afectada
5. Magnitud de los daños

Estrategias de control de recursos

A partir de la revisión de literatura de las bases de datos, no se evidenció una estrategia de control de recursos, por consiguiente se procedió a elaborar una estrategia de control dando como resultado:

1. Mecanismo de planificación: Pert y CPM.
2. Mecanismo de seguimiento y cumplimiento del plan: Acumulación de desviaciones en el tiempo tanto positivas como negativas, para ver las diferencias de entre lo planeado y lo ejecutado.
3. Acciones correctivas: Mecanismo de control, con la aplicación de tolerancias y multimodos.

La valoración de las tolerancias hace que estas estrategias puedan cambiar de control periódico a control continuo. Las tolerancias representan el porcentaje máximo en el cual se puede alejar el proyecto real de lo planificado.

Para efectos de este trabajo se utilizaron estrategias que admiten dos tolerancias:

- Tolerancia 1: Tolerancia de modo 1 a modo 2.
- Tolerancia 2: Tolerancia de modo 2 a modo 3.

Las tolerancias son un punto clave para esta investigación, debido a que a través de ellas se podrá establecer cuál es la estrategia adecuada para la realización del control. Así cuando el proyecto se aleja del nivel de ejecución programado en una proporción mayor a la tolerancia fijada (discrepancia), se genera un cambio de modo en la ejecución de las actividades que permite acelerar la ejecución de las mismas y cumplir así con las expectativas.

La discrepancia representa la diferencia entre lo real y lo planificado.

El modo representa una combinación específica de tiempo y recursos (tecnología) en la ejecución de la actividad. La variación del modo permite el cambio de disponibilidad de recurso, lo cual permite que la ejecución del proyecto real se acerque a la ejecución planificada.

**MODELO DINÁMICO DE CONTROL DE RECURSOS PARA EL SUBSISTEMA DE BÚSQUEDA Y RESCATE.**

Para desarrollar el modelo dinámico encaminado a la prueba de las estrategias de control, se procedió a la representación de las actividades del subsistema, previamente caracterizadas en dos redes de actividades. La primera red muestra las operaciones de búsqueda y rescate bajo los estándares de tiempo planeado bajo el supuesto de disponibilidad plena de recursos. La segunda red muestra la ejecución de las operaciones del subsistema bajo la influencia de las variables endógenas y exógenas identificadas. La interacción de estas 2 redes se da por medio de un indicador de discrepancia entre los tiempos planeados y los tiempos ejecutados, que al ser comparado con la tolerancia seleccionada en una estrategia particular de control aplica una medida correctiva basada en el cambio de la intensidad de uso de los recursos ( Cambio de modo). Este conjunto de elementos en su interacción

forman un bucle de realimentación negativa o bucle de control, como se aprecia en la figura 1:

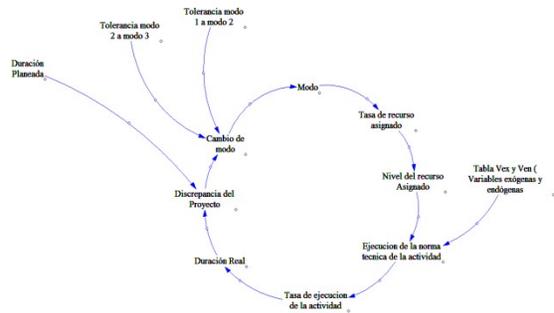


Figura 1: Bucle de control

El modelo dinámico fue desarrollado en Vensim, cuenta con 125 variables auxiliares, 20 niveles y 45 tasas.

Una actividad típica de la red de planeación se observa en la figura:

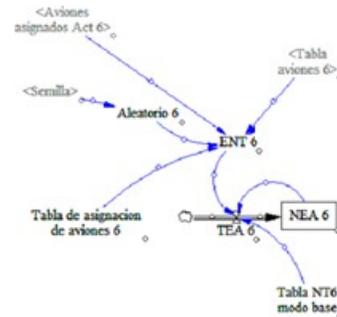


Figura. 2 Actividad de red de planeación

Seguidamente en la figura 3 se observa una actividad afectada por la influencia de las variables endógenas y exógenas, en dicha actividad también se observa el cambio de modo en el modelo.

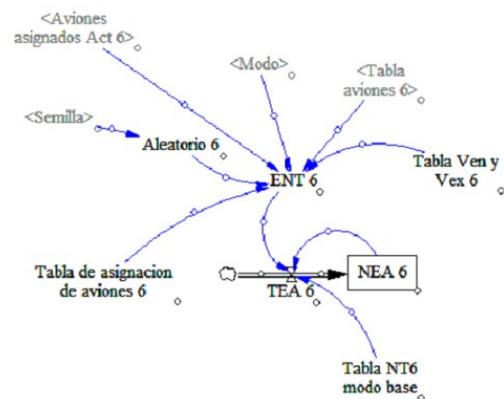
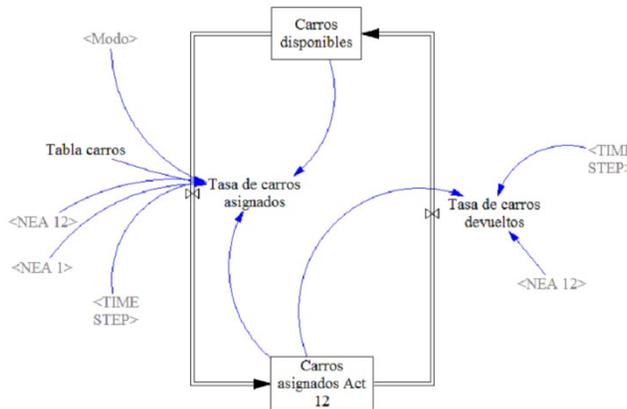


Figura.3 Actividad con variabilidad.

Seguidamente la distribución de los recursos se realizan dependiendo de la disponibilidad de los mismos, en donde se priorizaron la asignación de los mismos según la importancia de la actividad y sobre los cuales actúa el cambio de modo como se ve en la figura 4.



**EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS.**

Para la experimentación se establecieron 11 estrategias, y se tomaron los resultados del promedio de duración en la figura 2 y mortalidad en la figura 3, asociados a cada estrategia.



Figura 4: Promedio de duración por estrategia

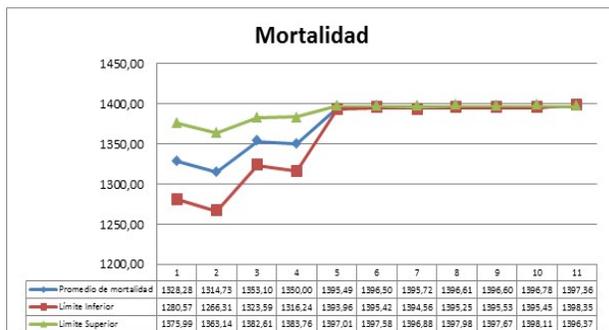


Figura 5: Promedio de mortalidad por estrategia

En la figura 4, Se puede observar que a medida que las tolerancias son mayores aumenta la duración del proyecto, permitiendo concluir que entre más pequeñas

son las tolerancias y entre más continuo sea el control, el proyecto se apega más rápido a lo planificado.

Un igual comportamiento se observa en la figura 5 referente a la mortalidad, a medida que las tolerancias son más cortas, la probabilidad de rescatar más vidas se hace mayor, ya que los intervalos de confianza son más holgados, aumentando la posibilidad de supervivencia de las víctimas.

**CONCLUSIONES**

Se comprobó que al aplicar estrategias de control con tolerancias con diferencias pequeñas se realiza un control continuo sobre las actividades y este manifestó un mejor resultado que las estrategias de control con tolerancias grandes, en lo que se refiere en la duración del proyecto y a la tasa de mortalidad.

Se logró identificar 3 estrategias de control de recursos que son iguales estadísticamente (Estrategia 1, estrategia 2 y estrategia 3), en lo que se refiere a la duración del proyecto y mortalidad, pero se estableció como estrategia optima la número 3 (Tolerancia 1= 0.3, Tolerancia 2= 1), debido a que genera menos cambios de modo, dando resultados iguales a las estrategias 1 y estrategia 2, pero gastando menos recursos.

**REFERENCIAS**

Cortéz, G. (2001). Protocolos Operativos de Búsqueda y Rescate. Bogotá: Sistema nacional para la prevención y atención de desastres .

García, J., Noriega, S., Díaz, J., & Riva, J. (2006). Aplicación del proceso gerarquico analítico. Agronomía costarricense, 107-114

Forrester, J. (1961). Industrial Dynamics. Cambridge: MA: Productivity Press.

González, L. (2011). Metodología integral y dinamica aplicada a la programacion y control de proyectos. Revista facultad de ingenieria Universidad de antioquia, 21-32

Kalenatic, D. (2011). "Metodología de planeación logística basada gestion de proyectos y dinamica de sistemas en empresas prestadoras de servicios. Revista facultad de ingenieria de la universidad de antioquia, 208-218.

Páez, C. W. (junio de 7 de 2013). Jefe Grupo de Operador de Comunicaciones y Sub Dirección general y operativa de defensa civil Colombiana. (A. Blanco, Entrevistador)



## 21. ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS TIPOS DE CLIENTES DEL SMARTPHONE EN LAS ETAPAS DE PRE Y POST LANZAMIENTO.

**ANGIE ALEJANDRA AZCÁRATE ZAMBRANO**

Universidad del Valle - Colombia  
angie3079@hotmail.com

**FABIÁN RENE TROCHEZ RAMÍREZ**

Universidad del Valle - Colombia  
fabian.trochez@correounivalle.edu.co

**ING. ANDRES FELIPE SALAZAR RAMOS**

Escuela de Ingeniería Industrial  
Universidad del Valle – Colombia  
andres.f.salazar@correounivalle.edu.co

### RESUMEN

El rápido crecimiento de la tecnología y el lanzamiento constante de productos tecnológicos al mercado ha provocado que estos productos tengan un ciclo de vida corto, creando presión sobre la industria y las estrategias que se deben implementar antes y después de su lanzamiento, para cumplir con las ventas proyectadas. En este trabajo se identifican los factores más representativos que influyen en el comportamiento de los tipos de clientes, teniendo en cuenta los factores de difusión que influyen en las etapas de pre y post lanzamiento, a través de la investigación y la simulación dinámica. Los resultados muestran que las estrategias que se implementan en las etapas de pre-lanzamiento son clave para determinar el éxito de un Smartphone en el mercado, ya que al lograr una buena difusión externa del producto a través de la publicidad, y al generar productos que satisfagan las expectativas del cliente, se puede garantizar una buena difusión y aceptación del producto en el mercado.

**PALABRAS CLAVE:** Dinámica de sistemas, Smartphone, Productos de ciclo de vida corto, Lanzamiento de productos.

### ABSTRACT

The rapid growth of technology and the constant launching of technology products to the market has caused that these products have a short life cycle, creating pressure on industry and the strategies that must be implement before and after its launching, to meet projected sales. In this paper is identified the most representative factors influencing the behavior of the types of customers, taking into account the diffusion factors that affect during the pre and post launch, through research and dynamic simulation. The results show that the strategies that are implemented during the stages of pre-launch are key to determining the success of a Smartphone on the market, since a good external diffusion is achieved through advertising and generate products that meet expectations customer, it can ensure a good spread and product acceptance in the market.

**KEYWORDS:** System dynamics, Smartphone, Short life cycle products, Product launch.

## INTRODUCCIÓN

La industria de las telecomunicaciones se caracteriza por ser una de las más competitivas, debido al número de actores que participan mundialmente y la variedad de productos que ofrecen. Actualmente existen 113 marcas de teléfonos celulares que ofrecen 7317 referencias de dispositivos móviles [1]. Dentro de esta variedad de competidores, en la industria del Smartphone se identifica un fácil acceso por parte de empresas que se dedican a la rama tecnológica, como los fabricantes de computadores y/o las empresas dedicadas al sector del internet [2].

La tecnología está cambiando la forma en que los individuos interactúan con la información diaria, y dispositivos como el Smartphone permiten una mayor personalización de la experiencia del usuario, lo que hace que estos productos sean cada vez más importantes y necesarios en la vida cotidiana moderna [3]. El Smartphone es un dispositivo electrónico que combina el teléfono móvil universal y el ordenador personal [4], y han surgido en el mercado como la configuración estándar para los dispositivos móviles. En la actualidad el Smartphone representa el segmento de mayor crecimiento del mercado en la industria de telecomunicaciones [2], llegando a ser en el 2011 los dispositivos de consumo más deseados por los norteamericanos [4], y alcanzando 1.228 millones de unidades vendidas en todo el mundo durante el 2014 [5], por este motivo se plantea para este artículo como caso de estudio el comportamiento de sus clientes en Colombia.

El proceso de penetración del mercado se puede ver como un modelo clásico de expansión de epidemias, en el cual se identifican diferentes categorías de compradores: se encuentran los "Innovadores", que son las personas que compran el producto primero y son influenciados solamente por difusión externa, la cual hace referencia a los medios de comunicación utilizados por la compañía. La acción de los innovadores induce a los "Imitadores" a la compra del producto, que son personas que deciden adquirirlo, debido a la influencia de otros que ya lo compraron, ya que están influenciados por la difusión interna, o llamado "voz a voz" [6]. Por último la tercera categoría de clientes se define como los "Recompradores", que consiste en aquellos que adquieren por segunda vez el producto [7].

Para el caso de estudio que ha sido planteado no se considera la categoría de "Recompradores", debido a la

peculiaridad del Smartphone que se caracteriza por un ciclo de vida corto, ya que la innovación tecnológica y la fuerte competencia en el mercado promueven su rápida obsolescencia [8], y las tecnologías existentes ocasionan que los productos tecnológicos tengan un ciclo de vida de 3 a 6 meses [9].

Se ha observado que en los últimos años, la tecnología permite introducir periódicamente al mercado nuevos productos con mayor valor y características adicionales [10], que logran cautivar la atención de los innovadores, los cuales inician el crecimiento de las ventas del producto lanzado, dicho crecimiento gana impulso debido a la difusión del producto entre los clientes potenciales y el nivel cada vez mayor de adoptadores del producto. Este enfoque de comunicación se basa en los conceptos del modelo de difusión de Bass, que fue utilizado en numerosas disciplinas científicas para desarrollar modelos formales de tales procesos [3].

Además de la acción de los innovadores y la decisión de imitar de los adoptadores, la publicidad a través de los medios de comunicación y el desarrollo del Internet ha acelerado la difusión de nuevos productos [8], por lo que factores como la innovación, la tecnología y los medios de comunicación son un ente esencial en el lanzamiento de productos tecnológicos. Otro factor que interfiere en la acción de compra, es la presión social que hace que un cliente obtenga un producto como una acción de imitar o repetir acciones de su grupo social cercano, muchas estrategias de mercadeo se enfocan en convencer a líderes o personas influyentes de dichos grupos sociales para que los demás miembros copien esa acción de comprar el producto [11].

La distinción entre los efectos pre y post lanzamiento es especialmente relevante para las industrias con productos de ciclos de vida cortos; en la etapa de pre lanzamiento una de las estrategias empleadas se define como "difusión sombra" que hace referencia al patrón de difusión de los productos que se genera debido a que los consumidores pueden reservar un nuevo producto antes de que esté disponible en el mercado, esto se logra mediante las actividades de publicidad que la compañía implementa, su capacidad de crear productos innovadores y la opinión del producto proveniente de mercados influyentes [12]. Para los productos de ciclo de vida corto es relevante utilizar eficazmente la publicidad previa al lanzamiento para lograr impulsar su demanda [13]. En la etapa de post lanzamiento, la decisión de compra está influenciada la combinación de los métodos de difusión externos que crea la compañía

(publicidad) y los métodos de difusión interna provocados por los compradores.

Por la trascendencia del Smartphone, actualmente se considera que los focus group ofrecen una perspectiva de las opiniones de un grupo que es difícil conseguir que se asemejen a las reales [14], por este motivo se ha creado la necesidad de involucrar a los clientes en el desarrollo de un producto a través de las Pruebas Beta, las cuales tienen como objetivo poner a prueba la funcionalidad del software de un producto, para obtener realimentación por parte de los clientes con respecto al producto e informar la percepción del desempeño a los clientes innovadores, que están a la espera del lanzamiento del producto, logrando incrementar su expectativa y deseo por adoptar el producto [15].

La introducción de productos con nuevos avances tecnológicos y nuevas características no implica que los de la generación anterior se retiren del mercado inmediatamente, por lo cual el cliente debe elegir entre múltiples opciones disponibles en el mercado. Este proceso de adoptar o no el producto genera incertidumbre para el detallista en su decisión de definir la cantidad adecuada de inventario a mantener [10], esta decisión puede causar consecuencias, ya que si los clientes potenciales no se convierten en adoptadores del Smartphone sino de un producto sustituto, y existe la posibilidad de que dichos productos generen una demanda perdida o se conviertan en clientes sustitutos [7].

En este artículo se analizan los factores de difusión que influyen en el comportamiento de los tipos de clientes de productos tecnológicos en las etapas de pre y post lanzamiento, para el caso específico del Smartphone, tomando como medida de desempeño el comportamiento de las ventas través del tiempo simulado. Este documento se desarrolla de la siguiente manera: en la sección 2 se plantea la problemática del caso de estudio y se identifican factores relevantes para su análisis; en la sección 3 se presenta el Diagrama causal que describe de manera sistémica las relaciones de cada una de las variables presentes en este estudio; en la sección 4 es presentado el modelo propuesto que permite simular la situación; en la sección 5 se presentan los resultados obtenidos; y por último, en la sección 6 se plantean las conclusiones obtenidas mediante la investigación.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En 2007 Apple entró en el mercado de las telecomunicaciones mediante el desarrollo del primer modelo de iPhone y poco después (2008), Samsung lanzó el Samsung Instinct, un competidor directo para el iPhone. Desde entonces la competencia en el mercado ha sido bastante dura entre las marcas tradicionales y las nuevas marcas de Smartphone [7], dando como resultado una lucha por ser el líder en el mercado.

La industria de los productos tecnológicos, en la cual se encuentra el Smartphone, es muy dinámica y se caracteriza porque la sustitución entre tecnologías ocurre con bastante rapidez, lo que influye en la rentabilidad de las empresas dado el ciclo de vida tan corto para estos productos que pronto serán reemplazados [7] por lo que dichas empresas deben adaptarse y crear estrategias para maximizar los ingresos dentro del ciclo del producto, dando prioridad e importancia a las estrategias y actividades realizadas en las etapas de pre y post lanzamiento que son críticas para el éxito del producto.

Una de las preocupaciones en la etapa de lanzamiento es el comportamiento de los clientes, y cómo se transforman dinámicamente de clientes potenciales a adoptadores, a partir de la imitación del comportamiento de los innovadores que serán quienes compren con seguridad el producto antes de su lanzamiento y del efecto que tenga la publicidad de la compañía sobre ellos.

La importancia de la innovación al lanzar un producto al mercado es esencial ya que existe una relación positiva entre innovación, la cual permite establecer una ventaja competitiva [16], y la supervivencia de la empresa [17]. Sin embargo el proceso de innovación es complejo puesto que por innovador se refiere a adaptaciones de aplicaciones que los clientes pagan por características como peso más ligero, mayor autonomía de su batería, introducción de funciones adicionales como por ejemplo juegos, tonos de llamada y conectividad [2], por lo cual se hace imprescindible el elemento de Investigación y Desarrollo (I&D) en esta industria, pero se debe tener en cuenta lo que los competidores están desarrollando para no incurrir en demandas por infringir patentes. Los pleitos de patentes en la industria de los Smartphone se han convertido en un tema delicado y se considera como el más importante de esta industria en comparación a otras, porque una empresa de alta tecnología que invierte gran proporción de sus recursos

en Investigación y Desarrollo es más sensible a las decisiones relativas de demandas de patentes [18].

Por lo tanto la I&D es un aspecto fundamental de las empresas de innovación tecnológica que les permite crear valor y encontrar nuevas oportunidades de innovación, a través de una amplia plataforma tecnológica. Aunque se invierta en I&D, el proceso de innovación es inherentemente riesgoso, generando cierta incertidumbre, pues la inversión de más insumos para este proceso no garantiza resultados de innovación y solo una fracción de los proyectos logran el éxito y dan lugar al lanzamiento de un nuevo producto [16].

Como se ha planteado anteriormente, el lanzamiento de un Smartphone al mercado está influenciado por diversos factores que pueden garantizar su éxito. Además de los factores que ya se han mencionado como el proceso de innovación, las estrategias de publicidad y la inversión en I&D, otro factor importante es el tiempo que tarda la empresa en lanzar su producto al mercado después de haber invertido en I&D, los productos de alta tecnología que se lanzan al mercado con un retraso de al menos seis meses, reflejarán una disminución de sus ganancias en 33% a largo plazo [19].

Actualmente, muchas empresas del sector de las telecomunicaciones no logran el éxito esperado en sus ventas al decidir lanzar sus productos al mercado, esto es una situación crítica y se debe a que muchas veces no se consideran todos los factores que pueden influir, o no identifican la relevancia de los mismos. Por este motivo se analiza la relación de cómo los factores de difusión interna y externa inciden en el comportamiento de los clientes, quienes influyen en el número de ventas alcanzadas por el Smartphone, a través de la dinámica de sistemas que permite analizar las relaciones e influencias entre las variables y facilita la comprensión para la toma de decisiones a nivel estratégico.

### DIAGRAMA CAUSAL

Para representar el sistema, se plantea un escenario, el cual se muestra en la Figura 1, donde existe un mercado total dividido en dos grupos. El primer grupo corresponde a los Clientes innovadores, los cuales deciden comprar el producto antes que sea lanzado mediante la pre venta, para poderlo adquirir justo en el momento de su lanzamiento. En el segundo grupo se identifican los Clientes potenciales, los cuales pueden decidir adoptar o no el producto, en caso de que lo hagan se consideraran como Clientes adoptadores y en

caso de que decidan adquirir un producto sustituto, se convierten en demanda pérdida o Clientes sustitutos.

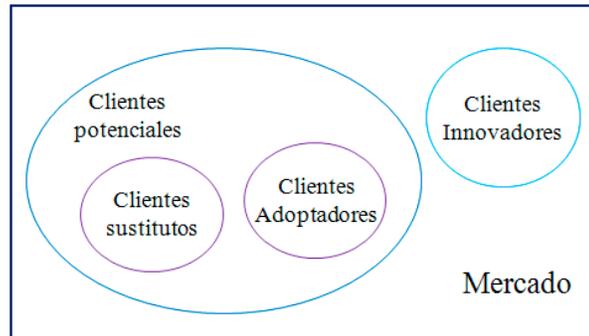


Figura 1. Esquema del mercado

En la Figura 2 se presenta el diagrama causal propuesto, validado mediante una revisión bibliográfica, dado que no existe un referente que utilice la dinámica de sistemas para analizar este tipo de comportamiento de clientes, de un producto de ciclo de vida corto en la etapa de pre lanzamiento, tomando como soporte el modelo de difusión de Bass, que estudia la difusión y adopción de nuevos productos y tecnologías, que se caracterizan por tener un ciclo de vida corto [6], considerando el modelo planteado por [7] que define los diferentes tipos de clientes y [8] que analiza el comportamiento de un producto de ciclo de vida corto.

En el diagrama se identifican dos componentes, los cuales hacen referencia a las actividades de pre y post lanzamiento del Smartphone, se compone de dos bucles de compensación y uno de refuerzo.

En la Figura 3 se observa el primer componente del diagrama que hace referencia a las actividades de pre lanzamiento, donde se busca alcanzar que un grupo de personas, pertenecientes al Mercado, deseen adquirir el producto antes de que sea lanzado, los cuales se identifican como Clientes innovadores. Se identifica un bucle de refuerzo, que corresponde a la relación que existe entre los Usuarios de pruebas beta, la Realimentación y la Inversión en I&D.

A partir de los Usuarios de pruebas beta que se definen como las personas que se encargan de probar el producto antes de que sea lanzado al mercado, quienes generan una realimentación dirigida a la compañía sobre las características del producto que se pueden complementar para mejorar su desempeño y la aceptación del público, lo que facilita la toma de decisiones para la compañía en incrementar el presupuesto destinado a I&D, y así poder contar con los

suficientes recursos para implementar esas mejoras propuestas por los que probaron el producto. A su vez la Inversión en I&D permite incrementar la Capacidad de innovar, es decir, la habilidad con la que se cuenta para crear productos que tengan las características necesarias y cumplir con las expectativas generadas y la atención de Clientes innovadores.

Del mismo modo, la Percepción de desempeño, la cual se establece como la opinión que tienen acerca del

producto aquellas personas que ya lo han probado, permite incentivar la adopción del producto a los Clientes innovadores. Dicha Percepción es generada por los Usuarios de pruebas beta y por el Desempeño del producto en otros mercados, que hace referencia a la realimentación proveniente de los mercados influyentes donde ya ha sido lanzado el producto con anticipación y ha recibido cierta aceptación o rechazo.

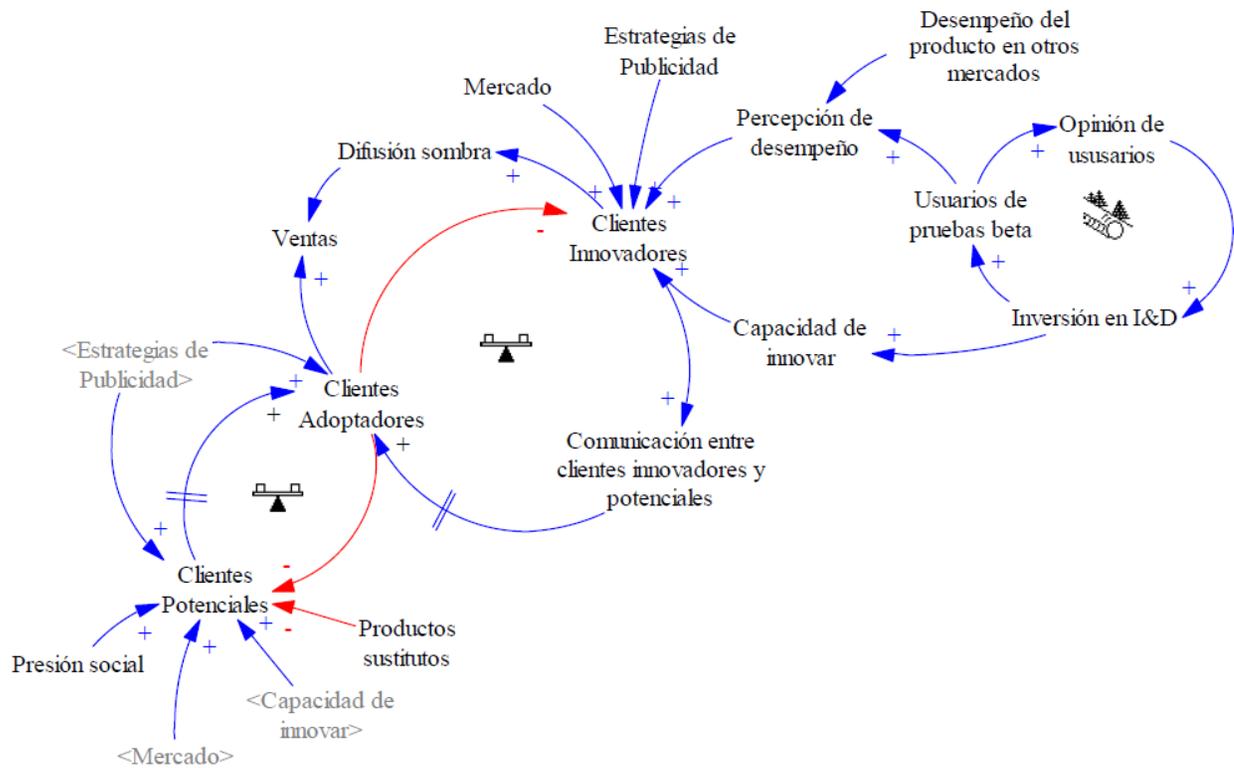


Figura 2. Diagrama causal, factores que influyen en las etapas de pre y post lanzamiento de un Smartphone

Por lo tanto la cantidad de Clientes innovadores que se generen, depende principalmente de la cantidad de personas que se encuentren en el Mercado, los cuales toman la decisión de adquirir el producto a través de los factores de difusión externa, como lo son la Capacidad de innovar y las Estrategias de publicidad, que son utilizadas por la empresa para crear una conexión emotiva con el cliente considerando factores como la marca y el reconocimiento, y factores de difusión interna, que se generan a partir del voz a voz y no se controlan fácilmente por la compañía, como lo es la Percepción del desempeño. Los Clientes innovadores que se hayan generado en el pre lanzamiento, crean una cantidad de

Difusión sombra o pre venta, la cual se puede ver reflejada como Ventas que ya ha alcanzado la compañía en la etapa pre lanzamiento.

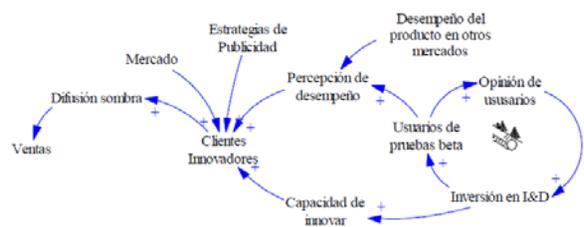


Figura 3. Diagrama causal, relaciones de pre lanzamiento

En la Figura 4 se describe el segundo componente del diagrama, donde se observan dos bucles de compensación, se explican las actividades de post



variables de nivel los cuatro tipos de clientes planteados y el Mercado del Smartphone en Colombia, para el cual se toma como referencia una cantidad de 15 millones de personas, dado que en Colombia existen aproximadamente 14,4 millones de usuarios de Smartphone [21], y asumiendo que la cantidad de población restante se convierten en Clientes sustitutos.

El modelo se plantea a partir de un Mercado que representa a los habitantes de Colombia, el cual se divide en dos grupos, el primer grupo se muestra en la parte inferior de la Figura 5 y corresponde a las actividades de pre lanzamiento, donde se logra acumular una cantidad de Clientes innovadores, debido a la Difusión sombra o pre venta, la cual es generada por las Estrategias de publicidad, que se refieren al número de personas incentivadas a la compra del producto por cada medio de comunicación utilizado por la empresa. Asimismo la Capacidad de innovar influye en la Difusión sombra, ya que representa el éxito que el producto alcanza en el mercado, y se representa mediante la cantidad de comunicaciones o "voz a voz" que creará cada persona que tenga el producto, es decir, una mayor Capacidad de innovar, representa que el producto cuenta con mejores características que logran que sea recomendado entre el público. Por último la Percepción de desempeño, que representa la opinión de las personas con relación al producto, ya sea proveniente de otros mercados influyentes o personas que probaron el producto antes de ser lanzado al mercado, al ser un valor difícil de cuantificar, se toma en cuenta como el coeficiente de innovación, planteado por [6], el cual se define como una tasa que representa el éxito con el que se percibe el producto en el mercado, para el caso planteado se toma como referencia los valores del modelo de co-difusión planteados por [22], donde lo utilizan para determinar la relación competitiva entre diversas plataformas tecnológicas de Smartphone.

Debido a que la implementación de estrategias de pre venta es un nuevo enfoque que se ha venido realizando en Colombia no se cuenta con suficiente información en este aspecto, por lo tanto en el modelo se hace uso de datos de un mercado representativo para así asemejarse a la realidad, en este caso se hace la relación con datos de China, donde existen 380 millones de usuarios de Smartphone [23] y durante el 2014 con el lanzamiento del Iphone 6 se alcanzaron cifras de 2,3

millones de reservaciones de compra [24]. Teniendo en cuenta esta información y sabiendo que en Colombia los usuarios de Smartphone son 14,4 millones, se realizan las debidas estimaciones considerando factores adicionales, como la capacidad adquisitiva del país y las marcas que realizan este tipo de actividades y se logra una cifra aproximada para la cantidad de Clientes innovadores presentes en el modelo. Una vez alcanzada cierta cantidad de Clientes innovadores al transcurrir el tiempo y a medida que más personas han adquirido el producto, éste se convierte en obsoleto debido a los rápidos avances de Tecnología y la originalidad del producto en el mercado disminuye, lo que genera que la cantidad acumulada de dichos clientes innovadores disminuya en su nivel debido a la Obsolescencia planteada como un porcentaje de la cantidad de Clientes adoptadores que genera el modelo.

caso, estos factores tienen un menor peso, ya que como fue planteado por [6] los Clientes potenciales se ven mayormente influenciados por la comunicación interna, es decir, la que se presenta con aquellos clientes que ya han adquirido el producto, puesto que los efectos de comunicación externa no logran gran influencia en su decisión de compra. Al igual los Clientes potenciales están influenciados por la Presión social, la cual es planteada como el coeficiente de imitación usado por [22], ya que es un valor que representa la efectividad que tiene la difusión interna y la influencia de compra que tiene la sociedad sobre alguien.

El segundo grupo mencionado que se puede observar en la parte superior de la Figura 5, el cual hace referencia a las actividades de post lanzamiento, donde principalmente se busca acumular una cantidad de Clientes potenciales a través de la Capacidad de innovar y las Estrategias de publicidad, que a diferencia de las actividades de pre lanzamiento, en este caso, estos factores tienen un menor peso, ya que como fue planteado por [6] los *Clientes potenciales* se ven mayormente influenciados por la comunicación interna, es decir, la que se presenta con aquellos clientes que ya han adquirido el producto, puesto que los efectos de comunicación externa no logran gran influencia en su decisión de compra. Al igual los Clientes potenciales están influenciados por la Presión social, la cual es planteada como el coeficiente de imitación usado por [22], ya que es un valor que representa la efectividad que tiene la difusión interna y la influencia de compra que tiene la sociedad sobre alguien.

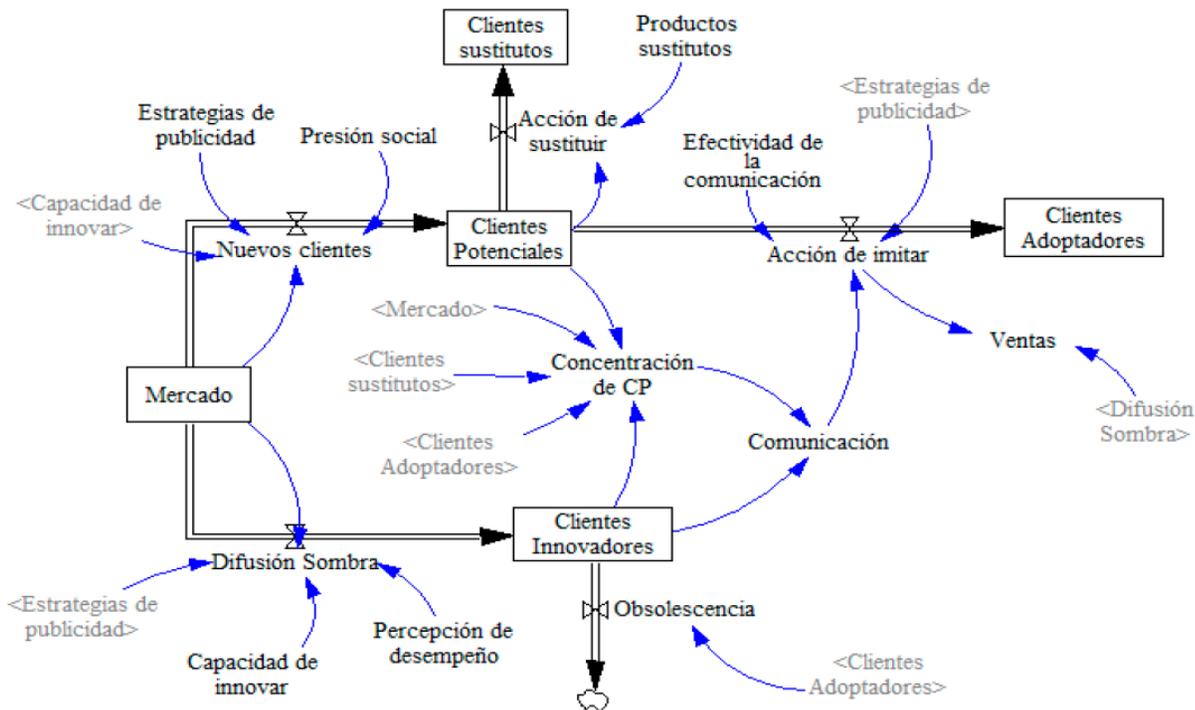


Figura 5. Diagrama de Forrester

Cuando las personas que se encuentran en el Mercado, se han convertido en Clientes potenciales de productos tecnológicos por los factores ya mencionados, existe la posibilidad de que decidan adoptar el producto lanzado o algún producto sustituto.

Los Productos sustitutos se plantean como un porcentaje que busca acumular a través del tiempo, el 4% de la población permitiendo que los clientes que realmente adoptan el producto sean los 14,4 millones de habitantes planteados por [20]. Por otro lado los Clientes potenciales que no deciden adoptar un producto sustituto, son aquellos que compran el Smartphone lanzado, pero esta Acción de imitar se logra mediante diversos factores que influyen, como las Estrategias de publicidad, las cuales ya han sido explicadas, pero en este caso tienen un mayor valor, debido a que los Clientes potenciales en esta etapa ya han sido influenciados por Innovadores, por lo tanto sienten la confianza y necesidad de querer adquirir el producto.

También existe la Comunicación que representa la cantidad de personas que son Clientes potenciales con los cuales los Clientes innovadores van a difundir el producto, esto se logra mediante la Concentración de Clientes potenciales, que determina el porcentaje que representan los Clientes potenciales en el Mercado

total. El valor de la Comunicación disminuye a medida que transcurre el modelo ya que dependerá en gran proporción de los Clientes innovadores, dado que dichos clientes dejarán de ser catalogados como innovadores a medida que transcurre el tiempo, por lo que existen menos Clientes potenciales con los cuales se pueda difundir el producto. Finalmente, la Efectividad de la comunicación indica qué tan eficiente es la difusión del producto entre los Clientes potenciales e innovadores, es decir, mide la cantidad de difusiones que van a generar los Clientes potenciales que han tenido comunicación con los Innovadores. Una vez se logra que los Clientes potenciales sean influenciados por la difusión externa del producto, es decir, las Estrategias de publicidad, y la difusión interna creada por los Clientes innovadores, se acumulan los Clientes adoptadores que representan las Ventas del producto. En el modelo planteado, la medida de desempeño corresponde a la cantidad de Ventas alcanzadas, ya que representan la aceptación o éxito que tiene el producto en el mercado y el riesgo que puede representar para la compañía.

## RESULTADOS

La simulación se lleva a cabo durante 30 días, debido a que se plantea el estudio del post lanzamiento del producto, y ya que su ciclo de vida es corto, se analiza

su comportamiento durante el primer mes después de haber sido lanzado.

En la Figura 6 se puede observar el comportamiento de las cinco variables de nivel explicadas con anterioridad, y se analiza claramente que el Mercado a medida que corre el tiempo va disminuyendo, ya que las personas que lo conforman, debido a los efectos de la comunicación interna y externa, han decidido adoptar un Smartphone o adquirir otro producto y ser Clientes sustitutos. Se analiza que durante el mes de simulación parte del Mercado no ha adoptado el producto, sin embargo, la cantidad de personas que se encuentran al final, es muy poca en comparación con las personas que habían al inicio, por lo tanto se comprueba que su ciclo de vida es corto.



Figura 6. Comparación del comportamiento de los tipos de clientes

Como se observa en la Figura 6, la cantidad de Clientes innovadores y sustitutos es baja en comparación al mercado, como se había planteado la preventa es una estrategia que se ha venido implementando y los Clientes sustitutos equivalen al 4% de la población que no adoptan un Smartphone. En la Figura 7 se muestra el comportamiento de estos dos tipos de clientes para observar mejor su escala.

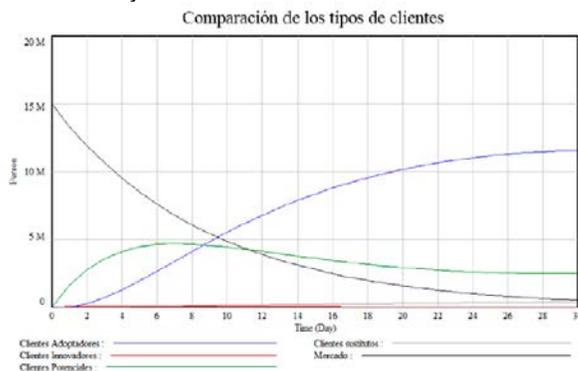


Figura 7. Clientes innovadores vs. Clientes sustitutos

Analizando la Figura 7 se identifica que los Clientes innovadores toman un valor máximo al inicio de la simulación debido a la pre venta que generaron y a través del tiempo van disminuyendo, su disminución ocurre ya que al transcurrir el tiempo y a medida que los Clientes adoptadores adquieran el producto, estos clientes ya deja de ser innovadores. Por otro lado se observan a los Clientes sustitutos, los cuales a diferencia de los innovadores, sí van incrementando debido a que los Clientes potenciales sienten la necesidad de adquirir un producto tecnológico y constantemente están expuestos a los medios de comunicación externa, por lo que pueden decidir adquirir otro producto que cumpla con los requerimientos básicos que buscaban, en vez de un Smartphone.

En la Figura 8 se ilustra el comportamiento de las Ventas en el modelo, el cual inicia en un punto diferente de cero ocasionado por la Difusión sombra antes de ser lanzado el producto. En la curva de Ventas se evidencia que tiene un crecimiento acelerado al inicio de la simulación pero va decreciendo a medida que transcurre el tiempo lo que permite comprobar que las curvas de ventas de los productos tecnológicos no siguen el comportamiento descrito por la campana de Gauss.

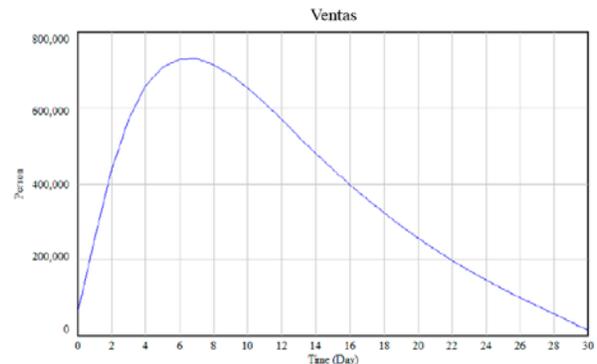


Figura 8. Comportamiento de las Ventas

## CONCLUSIONES

El modelo planteado permite determinar que los factores de mayor relevancia para alcanzar el éxito del lanzamiento de un producto tecnológico, son los relacionados con la difusión. Por un lado se encuentra la difusión externa que es un factor controlado por la compañía, la cual debe implementar correctamente las estrategias de publicidad que deben lograr cautivar al público, al igual que las características con las que cuente el producto. Por otro lado se analiza que la difusión interna es relevante en el post lanzamiento, ya

que para que el mercado tome la decisión de adoptar un producto, se ve influenciado especialmente por aquellas personas que ya lo han adquirido o por la opinión de terceros, que incrementen su confianza y les garantiza que el producto va a lograr satisfacer sus necesidades. Se puede concluir que las estrategias que se implementen durante el pre lanzamiento son las que garantizan el éxito del producto en el mercado, ya que la difusión interna que crean los Clientes innovadores es un factor clave, que facilita la decisión de compra de los Clientes potenciales. Por este motivo se recomienda que las compañías deben implementar estrategias que incrementen su capacidad de difusión externa, es decir, incrementar la forma en que logran cautivar a los clientes innovadores, ya sea por los medios de comunicación o con la creación de productos con características novedosas. Para el caso estudiado de Colombia, debido a la poca importancia que se le ha dado a la estrategia de preventa al sector de las telecomunicaciones, se sugiere considerarlo, ya que esta estrategia es un punto de partida para que la compañía pueda determinar el comportamiento del producto, antes y después de su lanzamiento, y así facilitar la toma de decisiones con respecto a las medidas que se deben tomar para incrementar la necesidad del producto y su aceptación. El alcance del modelo planteado es limitado, ya que a la hora de lanzar un Smartphone al mercado influyen factores adicionales a los mencionados, que debido a la dificultad que se presenta a la hora de cuantificarlos no son considerados. Para futuras investigaciones, se pueden considerar aquellos factores adicionales que influyen en el comportamiento de los clientes de un producto de ciclo de vida corto que no fueron tenidos en cuenta, como la disponibilidad del producto en los puntos de venta y/o tener en cuenta la competencia que existe entre las diversas marcas disponibles en el mercado, adicionalmente, con ayuda de un análisis de sensibilidad identificar la incidencia que tienen las variables más críticas del modelo.

### REFERENCIAS

- [1] Mviles.com: el comprador de telefonía líder en España, Información consultada y disponible en: <http://www.mviles.com/marcas>
- [2] Cecere Grazia, Corrocher Nicoletta, Battaglia Riccardo D., Innovation and competition in the smartphone industry: Is there a dominant design?, En: Telecommunications Policy, Vol. 39 p. 162-175, 2015.
- [3] Yeolib Kim, Briley Daniel A., Ocepek Melissa G. Differential innovation of smartphone and application use by sociodemographics and personality. En: Computers in Human Behavior, Vol. 44, p 141 – 147, 2015.
- [4] Hu S., Lu M., Tzeng G., Exploring smart phone improvements based on a hybrid MCDM model, En: Expert System with Applications. Vol. 41 p 4401-4413. 2014.
- [5] CBNC, Latin America is the fastest growing Smartphone market, Información consultada y disponible en: <http://www.cnb.com/2015/02/17/latin-america-is-the-fastest-growing-smartphone-market.html>
- [6] Massiani J., Gohs A., The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies, En: Research in transportation economics, p 1833 – 1840, 2015.
- [7] Millin Peter M., Modeling innovation processes for decision support and management simulation, En: System Dynamics Review, Vol. 12, no. 3, p 211 – 234, 1996.
- [8] Higuchi Toru, Troutt Marvin D., Dynamic simulation of the supply chain for a short life cycle product - Lessons from the Tamagotchi case. En: Computers and operations research, 2004.
- [9] Tierra Android, Sony quiere darle un ciclo de vida más largo a sus Smartphones, Información consultada y disponible en: <http://www.tierraandroid.com/sony-quiere-dar-ciclo-vida-mas-largo-sus-smartphones/>
- [10] Chanda U., Aggarwal R., Optimal inventory policies for successive generations of a high technology product, En: The Journal of High Technology Management Research. Vol 25 p 148-162. 2014.
- [11] Mullins J., Walker O., Boyd H., Larréché J., Administración del Marketing Un enfoque en la toma estratégica de decisiones, Mc Graw Hill, Quinta edición, p. 126. 2007.
- [12] Burmester Alexa B., Becker Jan U., Van Heerde Harald J., Clement Michel, The impact of pre- and post-launch publicity and advertising on new product sales, International Journal of Research in Marketing. 2014.
- [13] Elberse Anita, Eliashberg Jehoshua, Demand and Supply Dynamics for Sequentially Released Products in International Markets: The Case of Motion Pictures. En: Marketing science. Vol. 22 p 329 – 354. 2003.
- [14] América Economía, ¿Qué aspectos considerar al lanzar un producto en etapa Beta?, Información consultada y disponible en: <http://mba.americaeconomia.com/articulos/reportajes/que-aspectos-considerar-al-lanzar-un-producto-en-etapa-beta>
- [15] Proudfoot J., Swain S., Widmer S., Watkins E., Goldberg D., Marks I., Mann A., Gray J.A., The development and beta-test of a computer-therapy

program for anxiety and depression: hurdles and lessons. En: Computers in Human Behavior, Vol. 19, Issue 3, P 277–289, 2003.

[16] Zhang W., R&D investment and distress risk, En: Journal of Empirical Finance. Vol. 32 p 94-114, 2015.

[17] Cefis E., Marsili O., Survivor: The role of innovation in firms survival. En: Research Policy. Vol. 35 p 628-641, 2006.

[18] Nam S., Nam C., Kim S., The impact of patent litigation on shareholder value in the smartphone industry, En: Technological forecasting and social change. Vol. 95 p 182-190, 2015.

[19] Fortune Magazine, HOW MANAGERS CAN SUCCEED THROUGH SPEED, Dumaine B., Información consultada y disponible en: [http://archive.fortune.com/magazines/fortune/fortune\\_archive/1989/02/13/71614/index.htm](http://archive.fortune.com/magazines/fortune/fortune_archive/1989/02/13/71614/index.htm)

[20] Revista PyM, ¿Qué buscan los colombianos a la hora de comprar un Smartphone?, Información consultada y disponible en: <http://www.revistapym.com.co/noticias/mercadeo/que-buscan-colombianos-hora-comprar-smartphone>

[21] eMarketer, Colombia Joins Top Three Smartphone Markets in Latin America, Información consultada y disponible en: <http://www.emarketer.com/Article/Colombia-Joins-Top-Three-Smartphone-Markets-Latin-America/1011750>

[22] Tseng F., Liu Y., Wu H., Market penetration among competitive innovation products: The case of the Smartphone operating system, En: Journal of engineering and technology management. Vol. 32 p 40-59, 2014.

[23] Statista, Statistics and facts about the smartphone market in China, Información consultada y disponible en: <http://www.statista.com/topics/1416/smartphone-market-in-china/>

[24] Cnet, Suma y sigue: 4 millones de iPhone 6 reservados en China, Información consultada y disponible en: <http://www.cnet.com/es/noticias/siguen-sumando-4-millones-de-iphone-6-vendidos-en-china>



## **22. APPLYING SYSTEMS DYNAMICS FOR LEARNING AND TERRITORIAL MANAGEMENT: THE CASE OF THE ESTUARY OF MAULLIN RIVER (REGIÓN DE LOS LAGOS, CHILE)**

**LORENZO ANDRADE, FRANCISCO THER, JAIME CURSACH, GALICIA STUARDO, CLAUDIO GAJARDO, MARIA C. ALVAREZ, ASUNCIÓN DÍAZ, CARLOS HIDALGO**

Universidad de Los Lagos - Chile

landrade@ulagos.cl, fther@ulagos.cl, jcurval@gmail.com, galiana23@gmail.com, clgajardocortes@gmail.com, atalinalvarez@gmail.com, asu.diaz@gmail.com, chidalgarrido@gmail.com

**MARTIN SCHAFFERNICHT**

Universidad de Talca - Chile

martin.schaffernicht@gmail.com

### **ABSTRACT**

A territory can be understood as a geographic space culturally and historically appropriated by different human collectivities; at the same time is an open system, dynamic, complex and in constant construction as result of the interplay between anthropic and natural dimensions. Defined by these characteristics, understanding a territory requires the support of appropriate tools as Systems Dynamics. We assume that learning processes and management a territory enable to give meaning to the use and management of (natural and cultural) resources affecting the viability and sustainability of the territory. This paper, supported for 2015-2016 by the Fund for the Promotion of Scientific and Technological Development (FONDEF) dependent on the National Commission on Science and Technology (CONICYT), is part of an ongoing investigation in the Maullín River Estuary (Region de Los Lagos, Chile) focused on learning processes and territorial management through modeling-based techniques as Systems Dynamics complemented with territorial diagnostics tools and analysis from the Anthropology of the Territory.

**KEYWORDS:** Territorial Learning, Territorial Management, sustainability, Maullín River Estuary, modeling, Scenario Simulation Model.

### **I. INTRODUCCIÓN**

Un territorio se define como un espacio geográfico apropiado socio-cultural e históricamente por colectivos diversos [1]; al mismo tiempo se trata de un sistema abierto, dinámico y complejo en continua construcción producto de la interacción entre los factores antrópicos y naturales, esto último nos orienta a considerar que para un aprendizaje y gestión territorial se requiere contar con herramientas y metodologías adecuadas como la Dinámica de Sistemas. La construcción de modelos integradores de relaciones complejas para la mejora de la gestión, ha ido poco a poco ganando terreno en la investigación de manejo de aguas, áreas litorales y territorios costeros [2], [3], [4]. Así por ejemplo, [5] presentan un marco de meta-modelización que facilita la integración de información socioeconómica

(censos agrícolas) y biofísica (uso de suelo), particularmente por medio de utilización de GIS y del diseño de simulación de uso del agua. El estado del arte internacional respecto de la utilización particular de Dinámica de Sistemas (DS) en investigaciones costeras y estuarinas muestra una tendencia a la modelación de relaciones ecosistémicas con escasa atención a componentes sociales, políticos, jurídicos, económicos y culturales [6], [7], [8], [9], [10].

Pese a la tendencia que hemos ya expuesto, existe una corriente menos frecuente que incorpora los componentes sociales, económicos, culturales o políticos. En Taiwan, por ejemplo, utilizan la Dinámica de Sistemas como herramienta articulable con el Integrated Coastal Zone Management (ICZM) para analizar las relaciones entre subsistemas

socioeconómico, biológico, medioambiental y de gestión, en un ecosistema arrecife de coral [11]. Sus resultados destacan cuatro variables críticas que incluyen el manejo de la tierra, el tratamiento de aguas residuales, la tasa de consumo de recursos pesqueros y la recaudación de tarifas de entrada. Por su parte otros investigadores [12] proponen una modelación sistémica que simula la interacción entre variables socioeconómicas y de infraestructura y manejo costero en contextos urbanos, utilizando como contexto la ribera del río Shenzhen en la región sudeste de China. El modelo, llamado SyDWEM (por sus siglas en inglés), demuestra resultados positivos de prospección de escenarios futuros y se muestra altamente significativo como insumo para la gestión territorial. En una línea similar se utilizan softwares de DS para la modelación de flujos medioambientales e indicadores de valoración socioeconómica de actividades ribereñas, logrando identificar cuatro distintos patrones alternativos de crecimiento socioeconómico y cuatro esquemas de asignación de flujos medioambientales para la simulación de impactos de dichas alternativas [13]. De manera similar, pero esta vez en Singapur, utilizan la DS para el diseño de un modelo (SingaporeWater) con el fin de analizar el futuro de planes de inversión y manejo de agua en el país asiático [14]. Sus resultados sugieren que los actuales planes de inversión pueden derivar en periodos cíclicos de abundancia y escasez de agua, por lo que se requiere de una reestructuración en los planes de inversión con mayor énfasis en la ampliación de cobertura en la infraestructura acuática. En la ribera del río Saskatchewan en Canadá, utilizaron la DS para integrar la demanda dinámica de irrigación con los valores de uso de agua para distintas actividades económicas, aplicando un componente de recursos acuáticos para emular un modelo existente llamado "Water Resources Management Model" [15]. Las innovaciones consideran un sub-modelo de riego para estimar la demanda de riego dinámico (incluyendo estimaciones alternativas de evapotranspiración) y un submodelo económico que estima el valor de uso del agua en distintos sectores y actividades económicas. Sus conclusiones destacan que la expansión de la irrigación disminuiría la producción de hidropoder pero, a la vez, incrementaría el total de beneficios económicos directos.

Siguiendo la tendencia de aplicar la modelación basada en DS en temas de aprendizaje y gestión territorial que integren componentes sociales, económicos, culturales o políticos, en esta ponencia se dan a conocer los antecedentes iniciales de una investigación en curso en

el Estuario del Río Maullín (Región de Los Lagos, Chile), para el periodo 2015 y 2016 auspiciada por el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y

Tecnológico (FONDEF) programa dependiente de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT).

## II. CARACTERIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA RESPECTO AL APRENDIZAJE Y GESTIÓN TERRITORIAL EN EL ESTUARIO DEL RÍO MAULLÍN

El río Maullín (41° 28' S; 72° 59' O) se origina en el sector occidental del lago Llanquihue. Recorre una distancia de 85 km, originando una cuenca que cubre 4.298 km<sup>2</sup>. Desde su cabecera sigue en dirección al suroeste desembocando como un gran estuario en cuya costa sur se emplaza la comuna de Maullín, ubicada a 75 km de Puerto Montt (Capital de la Región de Los Lagos) y a 1.100 km de Santiago (Capital nacional). Según censo de 2002, la población de la comuna de Maullín es de 15.580 habitantes. Por ser una comuna litoral, la actividad pesquera artesanal y la acuicultura tienen una gran importancia, así también se dan actividades como la agricultura, ganadería y turismo, aunque esto último de forma muy poco organizada.

El estuario del río Maullín no está ajeno a conflictos de intereses entre los diversos actores territoriales, situación que pareciera potenciarse con la aplicación de políticas de gestión con enfoque sectorial [16]. La problemática de la gestión de áreas litorales y de los conflictos de intereses que se generan en el uso del estuario del Río Maullín, evidencian la complejidad y dinámica que se observa en las áreas litorales y como la diversidad de actores (stakeholders) y la aplicación de políticas de gestión sectorial acrecientan o potencian los conflictos de intereses que ponen en riesgo la sustentabilidad de dicho sistema. Se destaca también en [16] la forma de abordar la comprensión del problema desde la modelación conceptual basada en la metodología de Dinámica de Sistemas, y a pesar de no desarrollar un modelo de simulación, deja abierta la posibilidad para estudios futuros con dicha metodología.

Así, el problema de gestión del Estuario Maullín se ve como una interesante oportunidad de abordarlo de manera más profunda por medio del diseño y desarrollo de un modelo de simulación basado en la metodología de Dinámica de Sistemas a través de un equipo interdisciplinario, capaz de indagar en los "modelos mentales" de los stakeholders del área litoral, tratando de obtener un Modelo de Simulación de Escenarios para la Gestión en Áreas Litorales que considere

componentes en interacción de los ámbitos más representativos. Un Modelo que a modo de objeto de aprendizaje, permita también simular múltiples estrategias de gestión, y evaluar las posibles consecuencias de diferentes decisiones (del tipo: "¿qué pasaría si..?"), dando respuesta sobre cuáles son los factores clave y cuáles son las mejores opciones que promueven la sustentabilidad del sistema territorial.

### III. COMPONENTES O ÁREAS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Desde el punto de vista metodológico, se considera la ejecución de un proyecto I + D, de interés público y cuyos mandantes son la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y el Gobierno de la Región de Los Lagos, que se organiza en función a 5 componentes o áreas investigativas (Fig. 1); cada una de estos componentes considera un equipo de investigación pertinente.

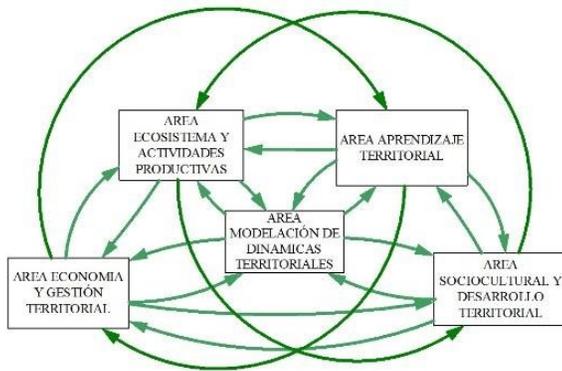


Figura 1. Componentes o Áreas de investigación para el diseño y desarrollo

Dentro de cada componente o área los contenidos o actividades investigativas dicen relación con:

a) **Área Ecosistema y Actividades Productivas.** Este componente tiene que ver con la caracterización y evaluación biológica y ecológica del área litoral en estudio, así como con la integración de las actividades productivas, siempre desde la mirada del manejo de recursos hidrobiológicos, como son: Áreas de Manejo de Recursos Bentónicos; actividades extractivas y de acuicultura; entre las principales. Se reconoce la importancia de la Ecosistema estuarino como sostenedor de todas las actividades productivas que se mencionaron y que impactan en forma directa e indirecta en todo el quehacer del territorio. Claro ejemplo lo constituye la preocupación de la comunidad e instituciones privadas y públicas por

los niveles de eutrofización y embancamiento en el estuario, los cuales al no ser controlados podrían impactar negativamente en las actividades acuícola pesqueras. Es interesante también considerar la gran diversidad de aves migratorias que llegan a los humedales asociados al estuario y que constituyen un atractivo turístico de carácter internacional.

- b) **Área Economía y Gestión Territorial.** Se preocupa de caracterizar y evaluar las actividades productivas desde la perspectiva económica; la identificación de emprendimientos como Pymes, organizaciones de pescadores artesanales, industria acuícola-pesquera, turismo y sus posibilidades de crecimiento, sostenibilidad son aspectos a tener presente. Comprende también lo relativo a la gestión territorial en cuanto al aprovechamiento de instrumentos públicos y privados que tienen influencia en el sistema. Una de las situaciones que preocupan a las autoridades tiene que ver con la disminución de la población del territorio debido al incremento de la emigración. Como aporte a la solución se discute y estudia la posibilidad de potenciar y posicionar la imagen turística de la comuna de Maullín.
- c) **Área Aprendizaje Territorial.** Tiene que ver con la caracterización y evaluación del aprendizaje territorial, concebido como un proceso continuo destinado a superar los problemas territoriales en función de lograr la sustentabilidad territorial. Este componente adopta bases conceptuales del aprendizaje organizacional [17], [18], [19] y del aprendizaje social para la sustentabilidad que han desarrollado investigadores del ámbito de la gestión de sistemas socio- ecológicos [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30].
- d) **Área Sociocultural y Desarrollo Territorial.** Esta área considera los aspectos sociales y culturales de organizaciones de pescadores, comunidades indígenas, científicos y de funcionarios públicos, en tanto prácticas cotidianas, imaginarios territoriales y modos de vivir y habitar [1], y en su conjunto determinan el uso y destino del estuario; todo lo cual es posible de expresar en un modelo dinámico, así como aspectos relacionados al Desarrollo Territorial.
- e) **Área Modelación de Dinámicas Territoriales.** Esta área coordina y articula las otras cuatro áreas, indagando o estableciendo las relaciones sistémicas entre las variables. Se trata de un componente transversal en el que se aplican procesos de modelación participativa o mediada

[31], [32], principalmente con el equipo investigador del proyecto y equipos técnicos de las entidades asociadas (Municipalidad de Maullín; GORE Los Lagos; SUBPESCA; FUNASUPO) y que en definitiva permitirá generar el Modelo de Simulación de Escenarios para la Gestión en Áreas Litorales, producto final de nuestro proyecto.

#### IV. HIPÓTESIS DINÁMICA DEL APRENDIZAJE Y GESTIÓN TERRITORIAL PARA LA SUSTENTABILIDAD

El proyecto asume el Aprendizaje Territorial para la Gestión Territorial Integrada como un aspecto clave para activar y promover la instalación de capacidades dentro del territorio en función de su propia sustentabilidad [33]. Se asume o considera un ciclo continuo de Aprendizaje Territorial para la sustentabilidad del territorio, que en definitiva sería la expresión de los cambios en los modelos mentales territoriales. Teniendo presente la problemática de estudio planteada y la necesidad de un Aprendizaje y Gestión Territorial para la sustentabilidad, podemos representar una conceptualización o hipótesis dinámica, la cual se aborda a través de las siguientes apreciaciones:

**Las Acciones antrópicas**, entendidas como el conjunto de actividades económicas, productivas, político-institucionales y sociales, que en su conjunto constituyen un sistema cultural territorial de tipo estuarino, que es soportado por el *Ecosistema estuarino* que provee los servicios ecosistémicos requeridos. Las Acciones antrópicas tenderían a gastar o degradar el *Ecosistema estuarino* que las sostiene, es decir que si el *Ecosistema estuarino* decae las Acciones antrópicas, pasado un tiempo, también lo harán (Por ej: la salmicultura en aguas con altos niveles de eutrofización sería imposible). Esta situación constituye un bucle de retroalimentación balanceado y con retardo (Fig. 2).

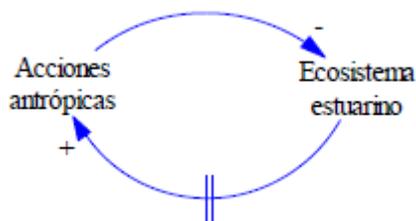


Figura 2. Bucle balanceado y con retardo, entre Acciones antrópicas y Calidad del ecosistema estuarino.

En una primera aproximación el bucle *Acciones antrópicas Ecosistema estuarino* es influenciado directamente por la demografía (a mayor población mayor Acciones antrópicas) y por variables propias de la gestión territorial y factores exógenos que tienden a fomentar principalmente el crecimiento económico que se traduce en un aumento de la intensidad de las acciones antrópicas en el *Ecosistema estuarino* (Fig. 3).

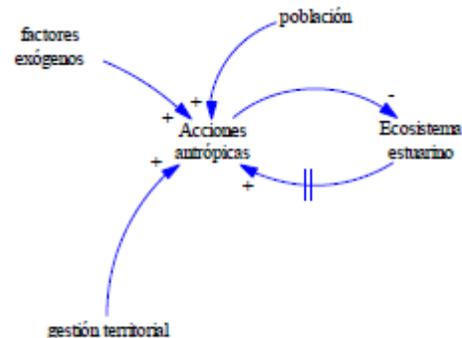


Figura 3. En una aproximación preliminar el bucle *Acciones antrópicas Ecosistema estuarino* estaría influenciado directamente por la gestión territorial, factores exógenos (por ej: empresas extraterritoriales) y la población del territorio.

Queda establecido que la degradación o deterioro del *Ecosistema estuarino* impactaría en la población disminuyéndola, aunque con un grado de retardo, puesto que el efecto no es instantáneo. Por otra parte, el deterioro del *Ecosistema estuarino* y el incremento de las *Acciones antrópicas*, genera o demanda requerimientos de información territorial que conllevan a la gestión y análisis de información territorial, la cual es un insumo que favorece la gestión territorial, en los procesos de planificación y toma de decisiones, pero que muchas veces se orientan a incrementar la intensidad de las acciones antrópicas en el ámbito productivo y económico. La forma en que opera dicha gestión territorial estaría influenciada por los modelos mentales territoriales existentes entre los stakeholders (Fig. 4). Esta situación representaría un bucle o ciclo de aprendizaje simple (Argyris y Schön, 1978) que no modifica los modelos mentales y, para el caso, no promueve la sustentabilidad.

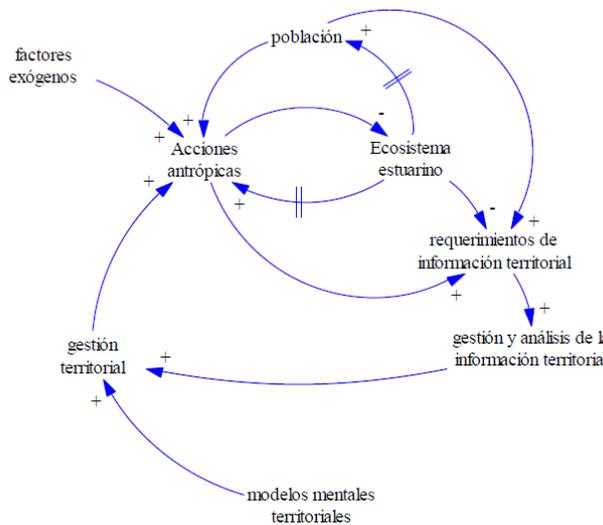


Figura 4. Aprendizaje territorial en bucle simple (basado en Argyris y Schön, 1978).

La gestión territorial que predomina actualmente es la gestión territorial con enfoque sectorial, por lo general de estilo gerencial o "top down", la cual se condice con el ciclo de aprendizaje en bucle simple. No obstante, y dada la complejidad y dinámicas territoriales, lo que se requiere es una gestión territorial con enfoque integrado o sistémico (o ecosistémico), de estilo "bottom up", probablemente también con elementos de un estilo "top down", pero menos presente que el actual, donde se consideraría la participación de los actores territoriales en la toma de decisiones. Ello exige el desarrollo de condiciones o capacidades previas que pasan por cambios en los modelos mentales de los stakeholders hacia una gestión integrada, es decir, se potenciaría un aprendizaje en doble bucle (Argyris y Schön, 1978), lo cual busca activar y promover la sustentabilidad. Lo otro importante de destacar es que la gestión territorial con enfoque integrado sería mutuamente excluyente con la gestión territorial con enfoque sectorial (Fig. 5).

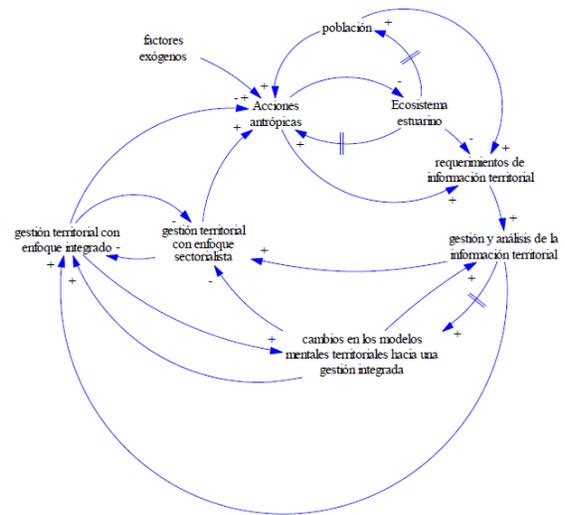


Figura 5. La gestión territorial con enfoque integrado requiere generar cambios en los modelos mentales territoriales hacia una gestión integrada.

Finalmente, la hipótesis dinámica del Aprendizaje y Gestión Territorial resultante estaría expresada en la Fig. 6. En ella se destaca que los cambios en los modelos mentales de los stakeholders hacia una gestión integrada dan lugar o potencian la participación, el empoderamiento de los actores locales, la formación de redes sociales, las capacidades de adaptación, las capacidades de resiliencia y las capacidades de innovación, entre otros varios aspectos. Tales variables que expresan el Aprendizaje Territorial darán forma y contenido a la gestión territorial con enfoque integrado.

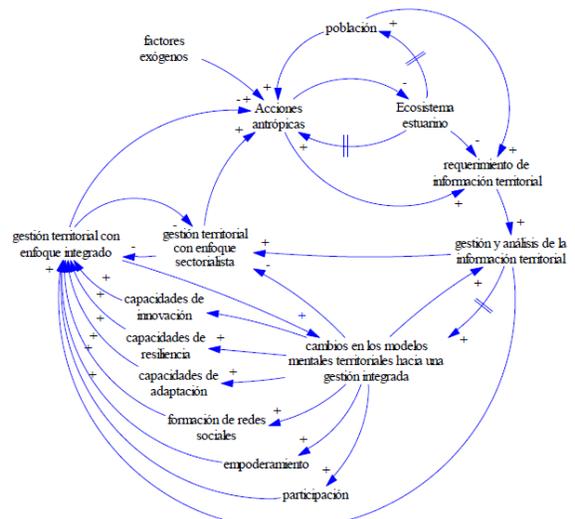


Figura 6. Hipótesis dinámica del Aprendizaje y Gestión territorial.

## V. COMENTARIOS FINALES

El bucle balanceado entre Acciones antrópicas y Ecosistema estuarino que se representa en la hipótesis dinámica del Aprendizaje y Gestión Territorial tiene asociadas una serie de relaciones y bucles (reforzados y balanceados) y retardos que expresan en parte la complejidad y dinámica que conlleva activar y promover ciclos continuos de aprendizaje territorial para la sustentabilidad. Este modelo conceptual constituye para el Proyecto de Investigación un importante referente para la organización y continuidad del mismo.

La necesidad de acelerar dicho ciclo de aprendizaje favorece la incorporación de herramientas, metodologías y lenguajes de representación de enfoque sistémico como lo es la Dinámica de Sistemas.

El proceso de modelación como instancia de aprendizaje colaborativo, debiera emular lo que es el proceso de aprendizaje territorial, llegando a ser incluso mucho más importante que el modelo en sí.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos al Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF), programa dependiente de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT), Chile, que ha financiado el Proyecto ID14110384. LITORALES DINÁMICOS. Modelo de Simulación de Escenarios (MSE) para la Gestión en Áreas Litorales: Etapa 1, Laboratorio Territorial Estuario del Río Maullín.

También agradecemos al Programa ATLAS Programa de Investigación Interdisciplinaria en Complejidad Territorial y Sustentabilidad de la Universidad de Los Lagos (Osorno, Chile).

## REFERENCIAS

[1] F. Ther "Antropología del Territorio". Revista Polis, Vol. 32: 493 – 510, 2012.  
 [2] R.S.V. Teegavarapu, "Modeling climate change uncertainties in water resources management models". Environ. Modell. Softw. 25, 1261-1265, 2010.  
 [3] T. Lynam, J. Drewry, W. Higham, C. Mitchell, "Adaptive modelling for adaptive water quality management in the Great Barrier Reef región", Australia. Environ. Modell. Softw. 25, 1291-1301, 2010.  
 [4] J.L. Molina, J. Bromley, J.L. García-Aróstegui, C. Sullivan, J. Benavente, "Integrated water resources management of overexploited hydrogeological systems

using object-oriented Bayesian networks". Environ. Modell. Softw. 25, 383-397, 2010.

[5] W.J. De Lange, R.M. Wise, G.G. Forsyth, A. Nahman, "Integrating socio-economic and biophysical data to support water allocations within riverbasins: an example from the Inkomati Water Management Area in South Africa". Environ. Modell. Softw. 25, 43-50, 2010.

[6] M.R. Rivers, D.M. Weaver, K.R.J. Smettem, P.M. Davies, "Estimating future scenarios for farm-watershed nutrient fluxes using dynamic simulation modelling". Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 36: 420-423, 2011.

[7] S. Mandal, S. Ray, P. Bhusan Ghosh, "Modelling of the contribution of dissolved inorganic nitrogen (DIN) from litterfall of adjacent mangrove forest to Hooghly-Matla estuary", India. Ecological Modelling 220 (21): 2988-3000, 2009.

[8] J. Mukherjee, S. Ray, P. Bhusan Ghosh, "A system dynamic modeling of carbon cycle from mangrove litter to the adjacent Hooghly estuary", India. Ecological Modelling, 25: 185-195, 2013.

[9] M.L. Feng, T. Sun, L.X. Zhang, X.M. Shen, "Net Ecosystem Metabolism Simulation by Dynamic Dissolved Oxygen Model in Yellow River Estuary", China. Procedia Environmental Sciences, 13: 807-817, 2012.

[10] Q. Wang, S. Jorgensen, J. Lu, S. Nielsen, J. Zhang, "A model of vegetation dynamics of *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis* in an expanding estuarine wetland: Biological interactions and sedimentary effects". Ecological Modelling, 50:195-204, 2013.

[11] Y.C. Chang, F.W. Hong, M.T. Lee, "A system dynamic based DSS for sustainable coral reef management in Kenting coastal zone", Taiwan. Ecological Modelling, 211: 153-168, 2008.

[12] H.P. Qin, Q. Su, S.T. Khu, "An integrated model for water management in a rapidly urbanizing catchment". Environmental Modelling and Software, 26: 1502-1514, 2011.

[13] S. Wei, H. Yang, J. Song, K. Abbaspour, Z. Xu, "System dynamics simulation model for assessing socio-economic impacts of different levels of environmental flow allocation in the Weihe River Basin", China. European Journal of Operational Research, 221:248-262, 2013.

[14] X. Xi, K.L. Poh, "Using System Dynamics for Sustainable Water Resources Management in Singapore". Procedia Computer Science, 16: 157-166, 2013.

[15] E. Hassanzadeh, A. Elshorbagy, H. Wheeler, P. Gober, "Managing water in complex systems: An integrated water resources model for Saskatchewan",

Canada. Environmental Modelling & Software, Volume 58, August 2014, Pages 12-26, 2014.

[16] G. Stuardo, F. Peña, F. Ther "The Perception of Public Actors respecting the processes and imbalances in the Management of the Maullin River Estuary, Los Lagos Region, Chile: A Conceptual Model for the Political and Technical Decision Making Processes". Revista de Gestión Costera Integrada, Volume 14, Número 1, Marzo 2014, Páginas 27-40, 2014.

[17] C. Argyris, D.A. Schön, "Organizational learning: A Theory of Action Perspective", Addison-Wesley Reading, MA. 1978.

[18] P. Senge, "The fifth discipline: The Art and Practice of the Learning Organization". Currency Doubleday, New York, 1990.

[19] J.D. Sterman, "Business Dynamics, Systems thinking and Modeling for the Complex World". Boston: McGrawhill, 2000.

[20] C.S. Holling, "Adaptive environmental assessment and management. John Wiley and Sons, London, UK. 1978.

[21] C. Folke, "Adaptive governance of social-ecological systems". Annual Review of Environment and Resources 30: 441-473

[22] C. Folke, F.S. Chapin III, and P. Olsson. "Transformations in ecosystem stewardship". Pages 103-125 in F.S. Chapin III, G.P. Kofinas and C. Folke, editors. Principles of ecosystem stewardship: resilience-based natural resource management in a changing world. Springer Verlag, New York, USA. 2009.

[23] C. Pahl-Wostl, "The importance of social learning in restoring the multifunctionality of rivers and floodplains". Ecology and Society 11(1): 10. 2006. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art10/>

[24] C. Pahl-Wostl, "A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes". Global Environmental Change, 19: 354-365, 2009.

[25] J. Dlouhá, A. Barton, S. Janousková, J. Dlouhý. "Social learning indicators in sustainability-oriented regional learning networks" Journal of Cleaner Production, 49: 64-73, 2013.

[26] R. Rodela, "Social Learning, Natural Resource Management, and Participatory Activities: A reflection on construct development and testing", NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 69: 15-22, 2014.

[27] M.S. Reed, A. C. Evely, G. Cundill, I. Fazey, J. Glass, A. Laing, J. Newig, B. Parrish, C. Prell, C. Raymond, and L. C. Stringer. "What is social learning?" Ecology and Society 15(4): r1. 2010. [online]URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/resp1/>

[28] W. Medema, A. Wals, J. Adamowski, "Multi-Loop Social Learning for Sustainable Land and Water Governance: Towards a Research Agenda on the Potential of Virtual Learning Platforms", NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 69: 23-38, 2014.

[29] E. Garmendia, S. Stagl. "Public participation for sustainability and social learning: concepts and lessons from three case studies in Europe". Ecological Economics. 69: 1712-1722, 2010.

[30] F. Berkes, F. "Evolution of co-management: role of knowledge generation, bridging organizations and social learning". Journal of Environmental Management. 90: 1692-1702, 2009.

[31] A. Voinov, F. Bousquet, "Modelling with stakeholders", Environmental Modelling & Software 25: 1268-1281, 2010.

[32] M. van den Belt, "Mediated Modelling: a System Dynamics Approach to Environmental Consensus Building". Island Press, Washington, D.C, 2004.

[33] F. Ther, "Complejidad territorial y sustentabilidad: notas para una epistemología de los estudios territoriales". Revista Horizontes Antropológicos, año 12, n. 25: 105 – 115, 2006.

#### AUTORES



**Lorenzo Andrade.** Ing. en Acuicultura con estudios de Postgrado en Gestión Pública, Desarrollo Local y Regional (Ulagos). Director del Proyecto de Investigación FONDEF ID14110384.

"LITORALES DINÁMICOS. Modelo de Simulación de Escenarios (MSE) para la Gestión en Áreas Litorales: Etapa 1, Laboratorio Territorial Estuario del Río Maullín". Investigador del Programa ATLAS de la Universidad de Los Lagos (ULagos).



**Francisco Ther,** Antropólogo (UACH-Chile). Magíster en Antropología Social y PhD en Antropología (Universidad Autónoma de México). Director del

Programa ATLAS (Programa de Investigación Interdisciplinaria en Complejidad Territorial y Sustentabilidad) de la ULagos.



**Jaime Cursach,** Biólogo Marino (ULagos), Magíster en Ciencias y candidato a Doctor en Ciencias, mención Conservación y Manejo de Recursos

Naturales (ULagos). Investigador del Programa Atlas.



**Galicia Stuardo**, Licenciatura en Trabajo Social (ULagos), Magíster en Planificación y Gestión Territorial (UC Temuco), candidata a Doctor en Ciencias Humanas mención Discurso y Cultura (UACH-Chile). Investigadora Programa ATLAS de la ULagos.



**Claudio Gajardo**, Antropólogo (UACH-Chile), Magíster en Ciencias Sociales (ULagos). Investigador del Programa ATLAS de la ULagos.



**María Catalina Alvarez**, Antropóloga (UACH-Chile), Magíster en Ciencias Sociales (ULagos). Coordinadora e Investigadora del Programa ATLAS de la ULagos.



**Asunción Díaz**, Antropóloga (UACH-Chile), Magíster en Ciencias Sociales, candidata a Doctor en Ciencias Humanas mención Discurso y Cultura (UACH-Chile). Investigadora del Programa ATLAS de la ULagos.



**Carlos Hidalgo**, Antropólogo (UC Temuco), Magíster en Ciencias Sociales, Investigador del Programa ATLAS de la ULagos.



**Martin Schaffernicht**, Economista (ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG), PhD en Ciencias Económicas y Empresariales (Universidad de Montpellier 2). Académico de la Universidad de Talca.

## 25. COMPARACIÓN DINÁMICA DE LAS DIFERENTES POLÍTICAS DE CONTROL DE INVENTARIOS PARA UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE DESECHABLES

**JORGE LUIS PAYÁN QUEVEDO, KELLY ANDREA PELÁEZ MEJÍA, CLAUDIA LORENA SALGADO SÁNCHEZ, JUAN CARLOS OSORIO GÓMEZ, ANDRÉS FELIPE SALAZAR RAMOS.**

Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle,  
 jorge.luis.payan@correounivalle.edu.co, kelly.pelaez@correounivalle.edu.co, claudia.salgado@correounivalle.edu.co,  
 juan.osorio@correounivalle.edu.co

### ABSTRACT

This paper presents a dynamic simulation of different inventory policies focus in a disposable packing company study case. The research considered 2 sceneries: the first one when the company could have sales losses, and the second one when the company considered to have backorders. The objective is chose a policy that permits to have the best possible level service, at the same time that reduces the cost. The study case was simulated with real data. The model was simulated on the Vensim Dss Software and it intends the policy for the company, comparing each scenery through the service level and the relevant total cost.

**KEYWORDS:** Inventory control, Backorder, relevant total cost, service level.

### I. INTRODUCCION

La gestión del inventario en una organización es una de las áreas de logística más importante e influyente en toda empresa. Una mala administración de los inventarios es uno de los problemas típicos de las empresas, lo cual ocasiona que se tenga demasiado de lo que no se vende o consume, y muchos agotados de los productos que más rotan (Vidal, 2010). La meta es maximizar los beneficios de la empresa, mientras que a su vez se minimiza el costo del manejo del sistema (Sipper, D; Bulfin, 1999). El problema de las empresas se basa en elegir una política de inventario óptima que les permita minimizar los costos totales relevantes (CTR) como el costo de mantener, costo por ordenar y costos por faltante, mientras se maximiza el beneficio. Generar un apropiado sistema de control de inventarios es de vital importancia para el funcionamiento de la empresa; por esto, autores como Vidal (2010) estudian varios tipos de sistemas de inventarios probabilísticos:

- Sistema continuo (s, Q): En este sistema, cada vez que el inventario efectivo es igual o menor al punto de reorden (s), se ordena una cantidad fija (Q).
- Sistema continuo (s, S): En este sistema de control continuo, cada vez que el inventario efectivo cae al

punto de reorden o por debajo de él, se ordena una cantidad tal que se incremente el inventario efectivo hasta el nivel de inventario máximo (S). La cantidad a ordenar depende de los inventarios efectivo y máximo y, por lo tanto, puede variar entre un período y otro.

- Sistema periódico (R, S): Este sistema se conoce también como el sistema del ciclo de reposición y se encuentra a menudo en organizaciones que no utilizan un control sistematizado de los inventarios. Aquí, cada R unidades de tiempo se revisa el inventario efectivo y se ordena una cantidad tal que este inventario suba al valor máximo.
- Sistema (R, s, S): Este es una combinación de los sistemas (s, S) y (R, S) y podría considerarse como un sistema híbrido. Consiste en que cada R unidades de tiempo se revisa el inventario efectivo. Si éste es menor o igual al punto de reorden, entonces se emite un pedido por una cantidad tal que el inventario efectivo se recupere hasta un nivel máximo.

Este trabajo se realizó por medio del software Vensim donde se simularon las cuatro políticas de inventarios (nombradas anteriormente) para un ítem clase A seleccionado de una empresa comercializadora de

desechables para dos casos: Caso 1) Ventas perdidas: Se considera que la empresa perderá todas las ventas que no pueda suplir con el inventario a la mano durante el periodo actual; Caso 2) Backorder: Se espera que los clientes estén dispuestos a esperar el tiempo suficiente hasta que la empresa pueda suplir esa demanda. Se realizó una clasificación ABC para cerca de 400 referencias para obtener un listado de artículos clase A y se realizaron los respectivos pronósticos de demanda. Para medir el desempeño de cada política de inventario se utilizó el nivel de servicio al cliente y el CTR (Costo Total Relevante). La organización del trabajo es la siguiente: en la Sección II se explican las características principales de la herramienta. La Sección III muestra detalles de la implementación. La Sección IV muestra

un caso de estudio modelado con la herramienta de software desarrollada. La Sección V muestra las mejoras que se pueden tener para las políticas de inventario al igual que el análisis de sensibilidad a los modelos. Finalmente, se pueden encontrar las conclusiones en la Sección VI.

## II. POLITICAS DE INVENTARIO DE DEMANDA PROBABILISTICA

En la siguiente sección se presentan los diagramas de forrester correspondientes a los cuatro sistemas de inventarios planteados, considerando tanto la existencia como no de backorders (escenarios que se simularán como escenario 1 y 2)

### MODELOS CON VENTAS PÉRDIDAS

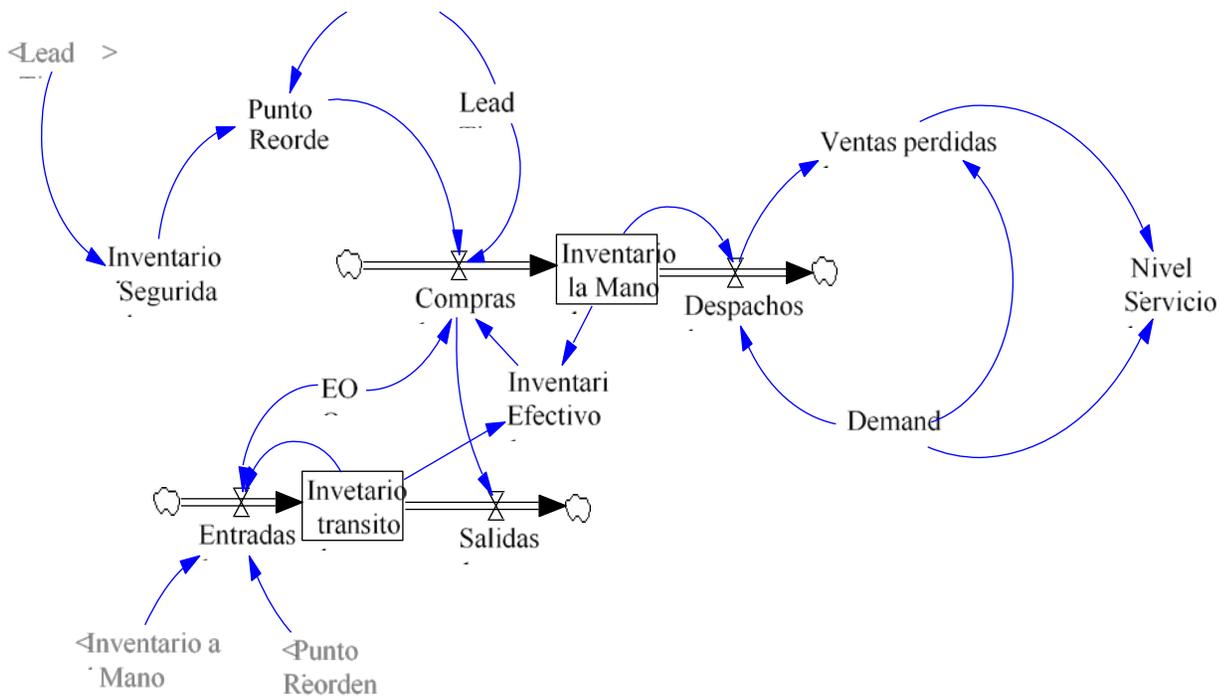


Figura 1. Diagrama de Forrester - Sistema de control de inventarios, Q con ventas perdidas  
Fuente: elaboración propia

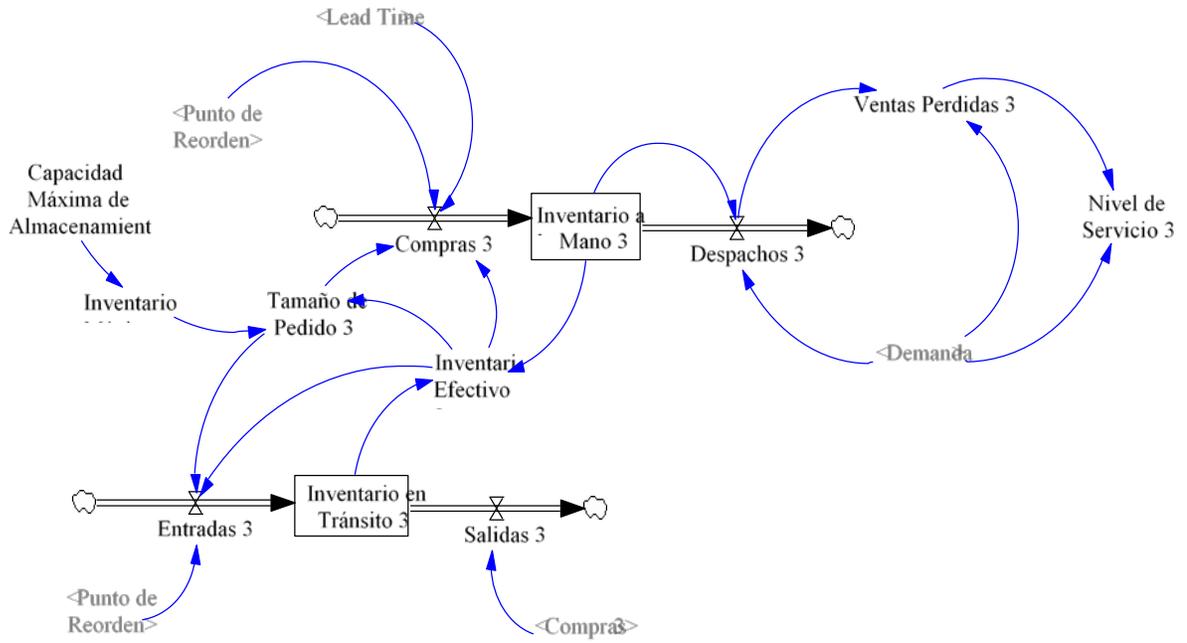


Figura 2. Diagrama de Forrester - Sistema de control de inventario s,s con ventas perdidas  
Fuente: elaboración propia

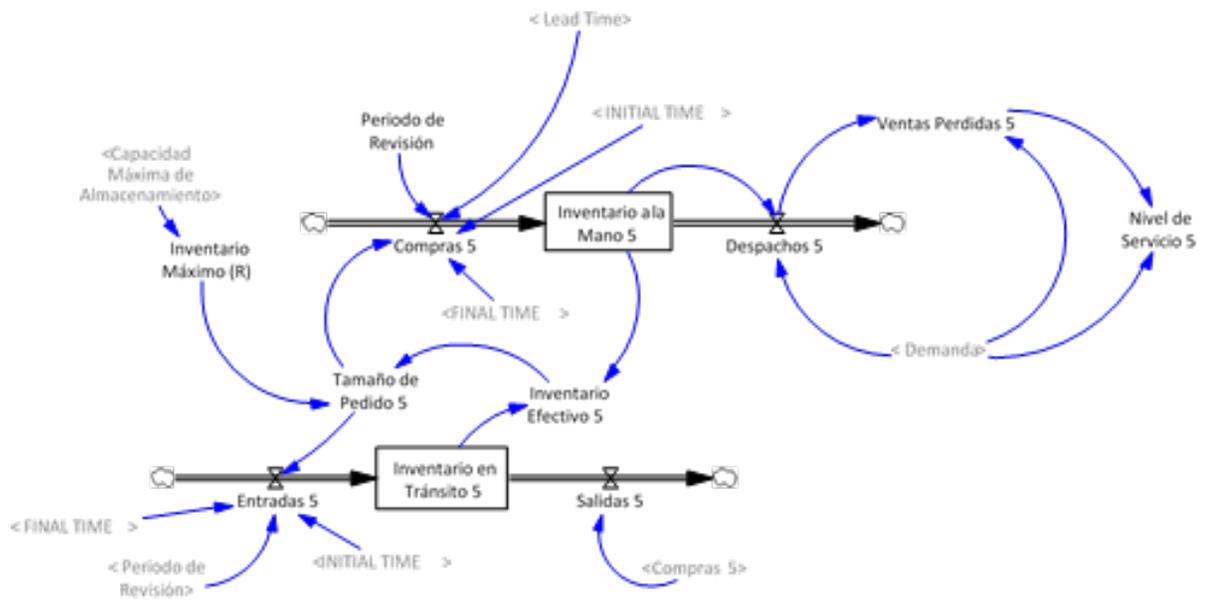


Figura 3. Diagrama de Forrester - Sistema de control de inventario R,S con ventas perdidas  
Fuente: elaboración propia

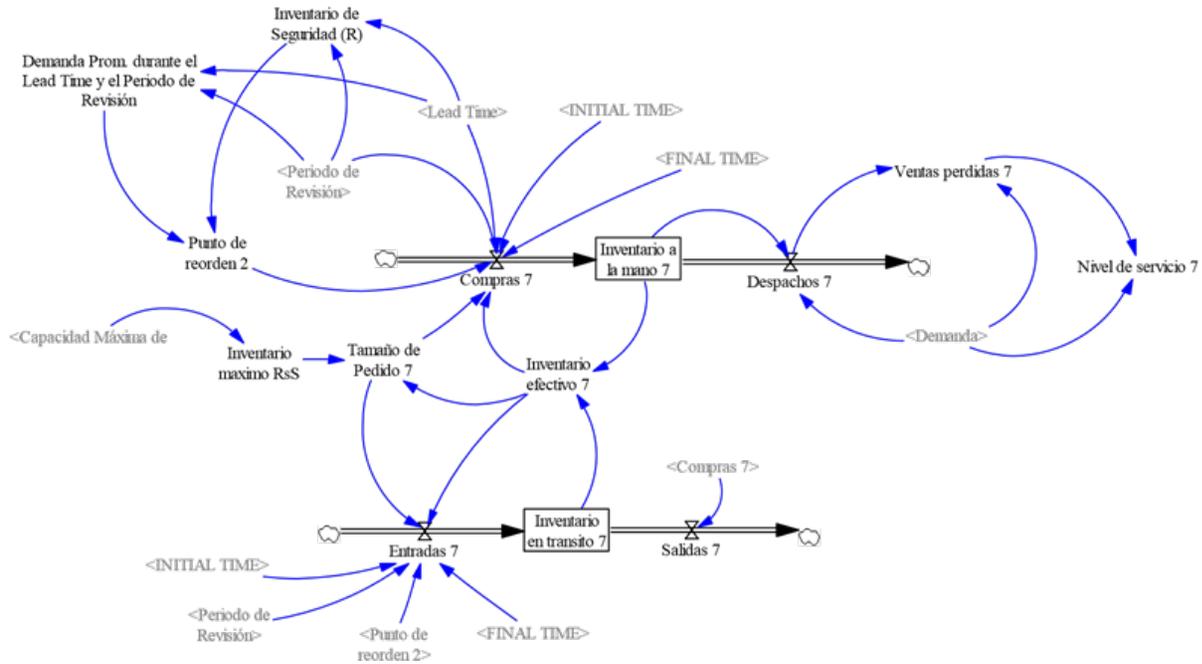


Figura 4. Diagrama de Forrester - Sistema de control de inventario R,s,S con ventas perdidas  
Fuente: elaboración propia

MODELOS CON BACKORDER

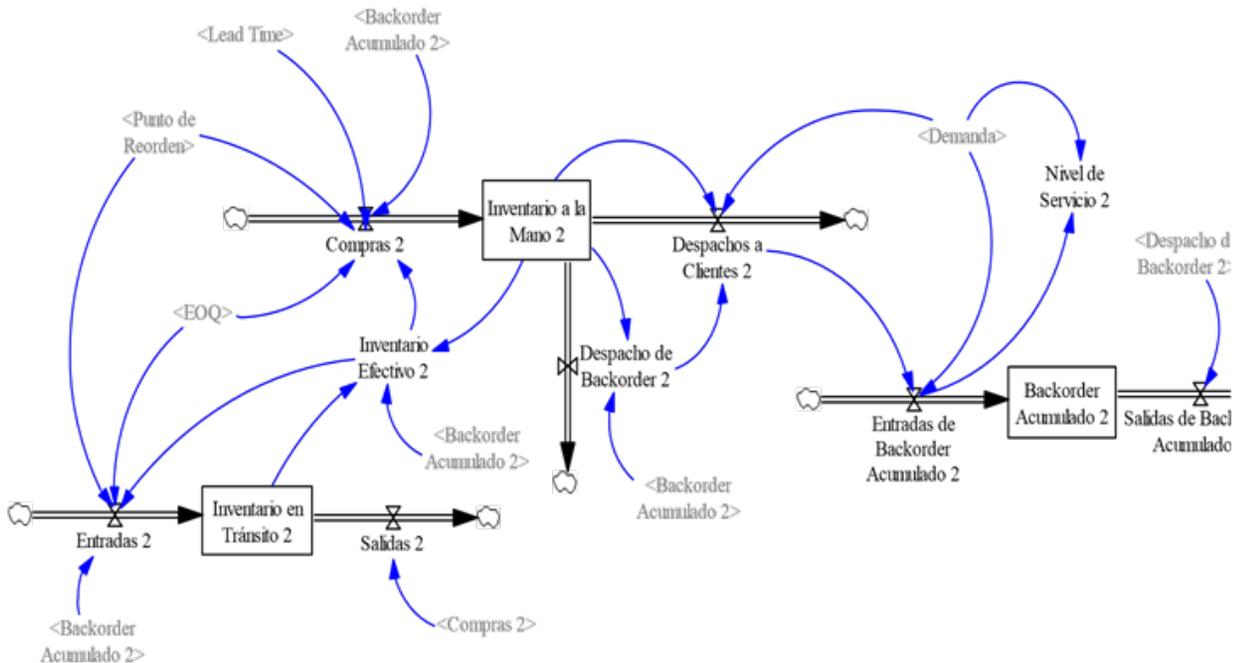


Figura 5. Diagrama de Forrester - Sistema de control de inventario s,Q con backorder  
Fuente: elaboración propia

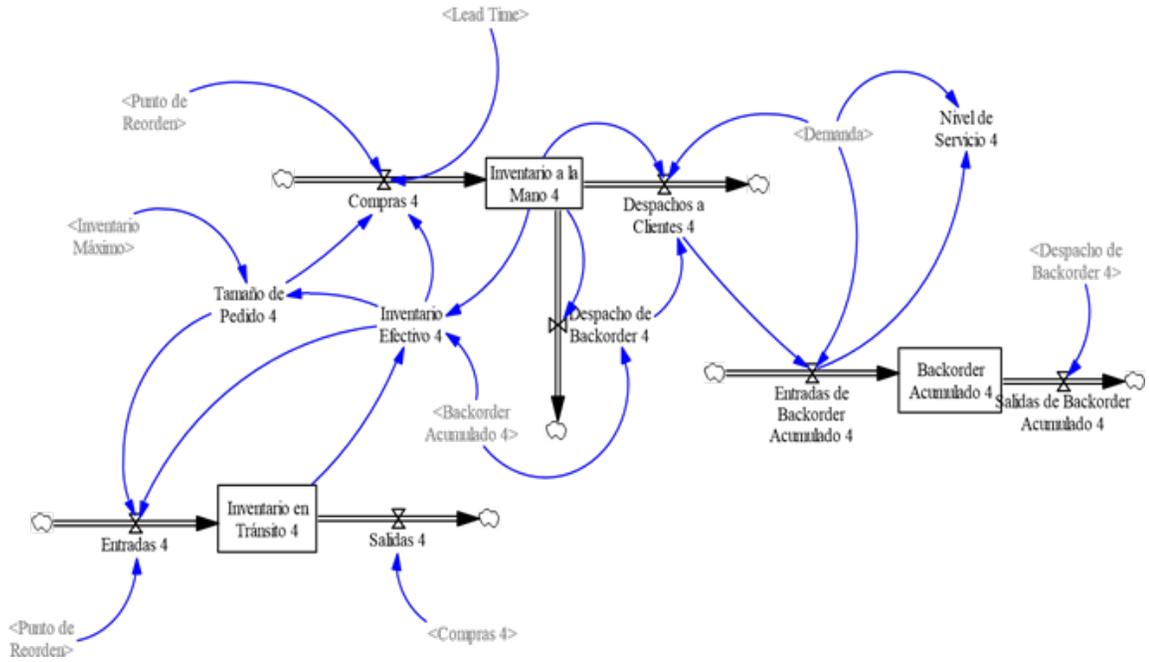


Figura 6. Diagrama de Forrester - Sistema de control de inventario s,s con backorder  
Fuente: elaboración propia

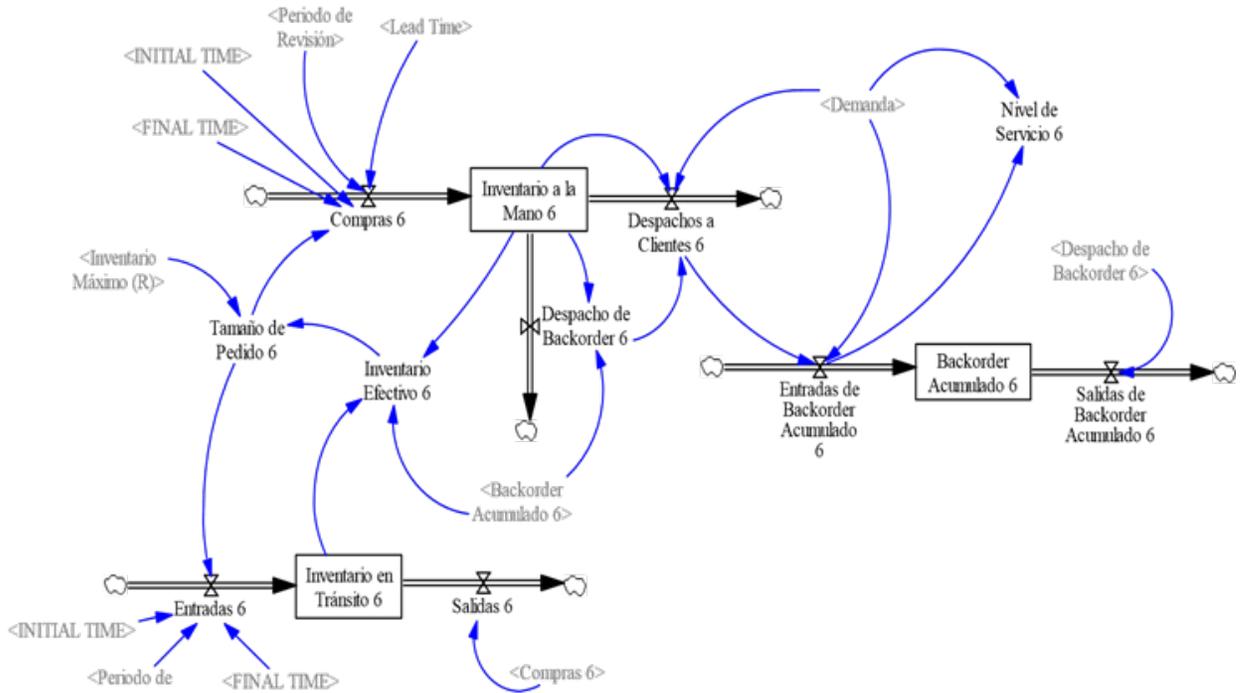


Figura 7. Diagrama de Forrester - Sistema de control de inventario R,s con backorder Revisión  
Fuente: elaboración propia

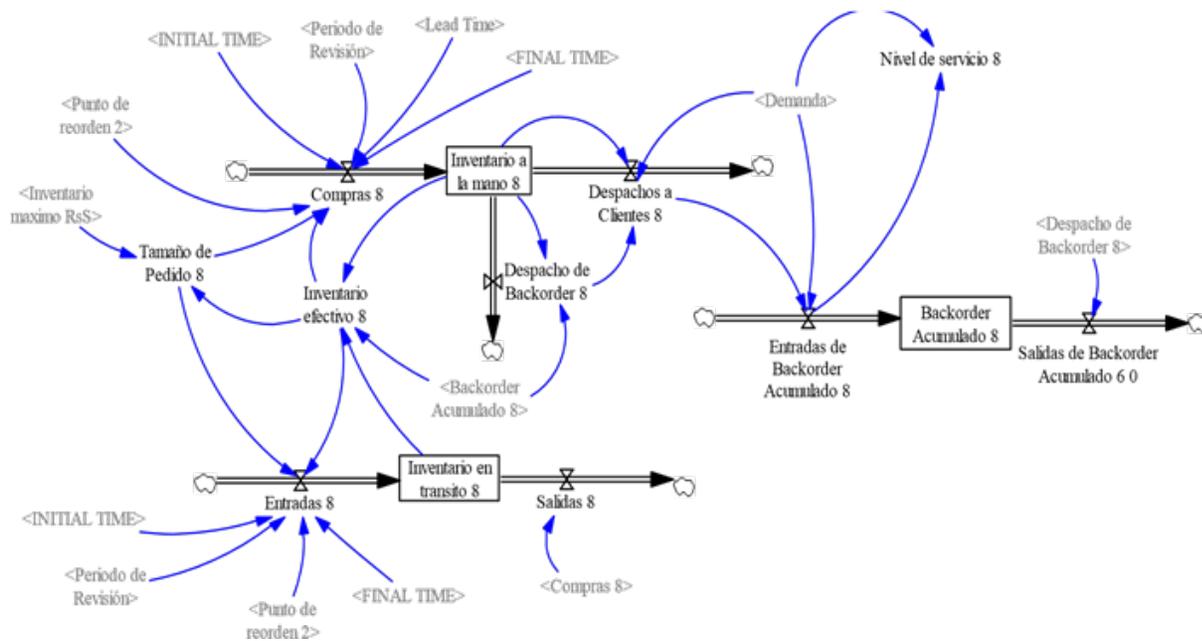


Figura 8. Diagrama de Forrester - Sistema de control de inventario R,s,S con backorder  
Fuente: elaboración propia

### III. CASO EJEMPLO

La situación modelada en el caso de estudio planteado representa el sistema de inventarios actual de comercializadora de empaques de cartón, aluminio, icopor y plástico; y que cuenta con alrededor de 400 diferentes referencias de productos diseñadas para la satisfacción de las diferentes necesidades del cliente. Considérese la siguiente información para un ítem de una compañía: la demanda mensual tiene un comportamiento uniforme con un valor mínimo de 244 unidades, un máximo de 361 unidades, media de 303 unidades, y una desviación estándar de 34 unidades. Los datos mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante la evaluación del comportamiento de la demanda pronosticada mediante el programa @Risk. El lead time del fabricante para el ítem evaluado es de 4 días (0,13 meses). El costo de ordenar es de 2.374 pesos por pedido, el costo de mantener una unidad en el inventario es del 14% del costo de la unidad y el costo unitario del ítem es 1.402 pesos (costo+IVA). Se quiere brindar al menos un 95% de nivel de servicio.

Al simular el caso, se plantearon 2 escenarios: Escenario 1: Ventas perdidas, en el cual se considera que la empresa perderá todas las ventas que no pueda suplir con el inventario a la mano durante el periodo actual; y escenario 2: Backorder, donde se espera que los clientes estén dispuestos a esperar el tiempo

suficiente hasta que la empresa pueda suplir esa demanda.

Para el escenario 1: Ventas perdidas, se supone que solo se podrá suplir de manera inmediata las unidades demandadas con las que se cuenta actualmente en el inventario a la mano, todas las demás unidades serán ventas perdidas, las cuales tendrán un costo del 24,81% del costo unitario del ítem. Para el escenario 2: Backorder, se supone que todas aquellas unidades demandadas que no se puedan suplir de manera inmediata, se convertirán en Backorder u órdenes pendientes, donde la empresa estará dispuesta a pagar un costo fijo de 20.000 pesos para que mi cliente esté dispuesto a esperar a que en el siguiente periodo satisfaga por completo su demanda.

Dado que la compañía maneja alrededor de 400 diferentes referencias de productos; se realizó una clasificación ABC clásica de los productos, tomando como indicador decisivo los ingresos anuales que generan cada producto. De los artículos clase A, el gerente de la compañía pidió que se evaluara el comportamiento del Vaso de 14 onzas translucido WAU, ya que es el segundo ítem con mayor porcentaje del valor total del inventario.

### IV. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de los dos escenarios simulados, a continuación se presenta el caso 1 de ventas perdidas.

#### IV. 1 Caso1: Ventas perdidas

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las políticas (s, Q), (s, S), (R, S) y (R, s, S), en la tabla # se pueden observar el nivel de servicio obtenido para cada política al igual que el CTR y el inventario a la mano promedio.

Tabla 1. Resultados con ventas perdidas  
Fuente: elaboración propia

Política	Nivel de servicio	Inventario a la Mano Promedio	CTR
s, Q	32,08%	86	\$ 62.118
s, S	56,91%	344	\$ 70.327
R, S	91,67%	413	\$ 65.949
R, s, S	68,66%	402	\$ 57.427

En este escenario la mejor política en cuanto al CTR fue la política s, Q con un costo de \$62.188 pesos pero con un nivel de servicio muy bajo del 32,08%, esto, dado a que el inventario a la mano promedio fue de 86 unidades y se tuvo una demanda promedio 300 unidades. El mejor nivel de servicio fue dado por la política R, S con un 91,67% y un costo de \$65.949. Se seleccionó la política R, S como la política a establecer en la empresa para el ítem clase A dado que obtuvo el mejor nivel de servicio. Comparando la política s, Q y R, S se observó un aumento en el costo total relevante en un 6,17% y en el nivel de servicio del 186% el cual es muy significativo con respecto a la política s, Q lo cual valida la decisión de seleccionar la política R, S. En la siguiente grafica se muestra el comportamiento del inventario a la mano de las políticas s, Q y R, S.

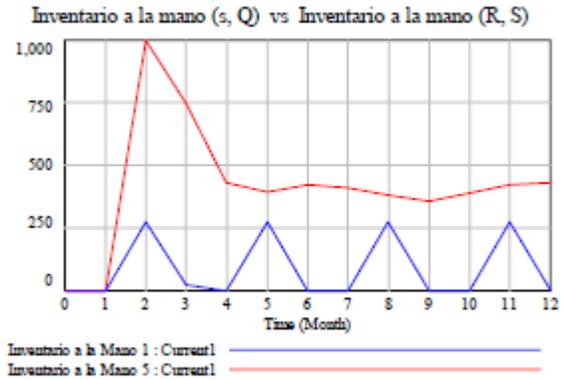


Figura 9. Comparación del Inventario a la mano (s, Q) vs (R, S)  
Fuente: elaboración propia

En la gráfica 9 el inventario a la mano 1 de color azul hace referencia al inventario de la política s, Q y el de color rojo a la política R, S. Como se puede observar de la gráfica anterior la política R, S mantuvo un inventario a la mano mayor que la política s, Q por lo cual con la política R, S se incurrieron en mayores costos de mantener inventario pero disminuyó el número de ventas perdidas al tener más unidades en el inventario a la mano para satisfacer la demanda. En la siguiente grafica se puede observar que la política s, Q tuvo ventas perdidas mayores que la política R, S.

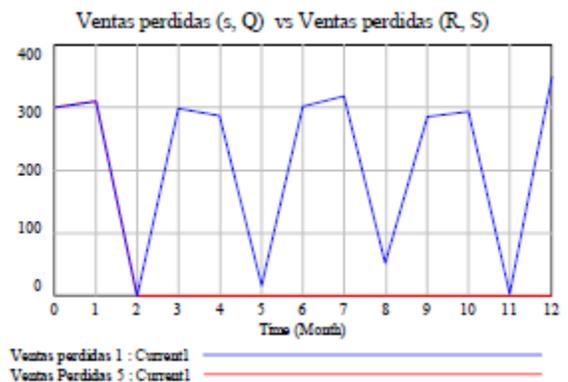


Figura 10. Comparación de ventas perdidas (s, Q) vs (R, S)  
Fuente: elaboración propia

#### IV. 2 Caso2: Backorder

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las políticas (s, Q), (s, S), (R, S) y (R, s, S), en la tabla # se pueden observar el nivel de servicio obtenido para cada política al igual que el CTR, el inventario a la mano promedio y Backorder.

Tabla 2. Resultados con Backorder

Fuente: elaboración propia

Política	Nivel de servicio	Inventario a la Mano promedio	Backorder	CTR
s, Q	16,31%	281	397	\$ 75.166
s, S	34,60%	287	311	\$ 94.770
R, S	91,67%	390	70	\$ 77.881
R, s, S	44,76%	319	234	\$ 68.085

En este escenario la mejor política en cuanto al CTR fue la política R, s, S con un costo de \$68.085 pesos pero con un nivel de servicio bajo del 44,76%, esto, dado a que el inventario a la mano promedio fue de 234 unidades y se tuvo una demanda promedio 300 unidades. El mejor nivel de servicio fue dado por la política R, S con un 91,67% y un costo de \$77,881. Se seleccionó la política R, S como la política a establecer en la empresa para el ítem clase A dado que obtuvo el mejor nivel de servicio. Comparando la política R, s, S y R, S se observó un aumento en el costo total relevante en un 14,39% y en el nivel de servicio del 105% el cual es muy significativo con respecto a la política R, s, S lo cual valida la decisión de seleccionar la política R, S. En la siguiente grafica se muestra el comportamiento del inventario a la mano de las políticas R, s, S y R, S.

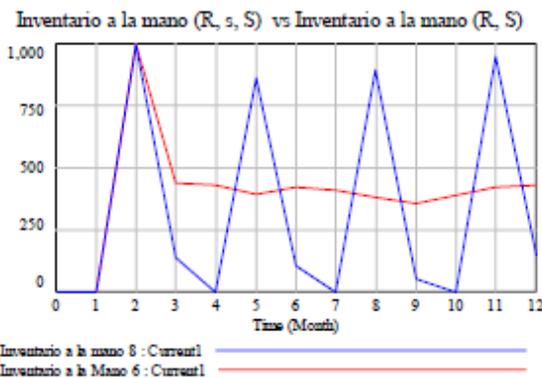


Figura 11. Comparación del Inventario a la mano (R, s, S) vs (R, S)

Fuente: elaboración propia

En la gráfica 11 el inventario a la mano 8 de color azul hace referencia al inventario de la política R, s, S y el de color rojo a la política R, S. Como se puede observar de la gráfica anterior la política R, S mantuvo un inventario

a la mano promedio, en cambio la política R, s, S tuvo periodos en los cuales su inventario fue 0, por lo cual con la política R, S fue menor el número de ventas perdidas al no tener periodos en los cuales su inventario fuera 0. En la siguiente grafica se puede observar que la política R, s, S tuvo mayores Backorder que la política R, S.

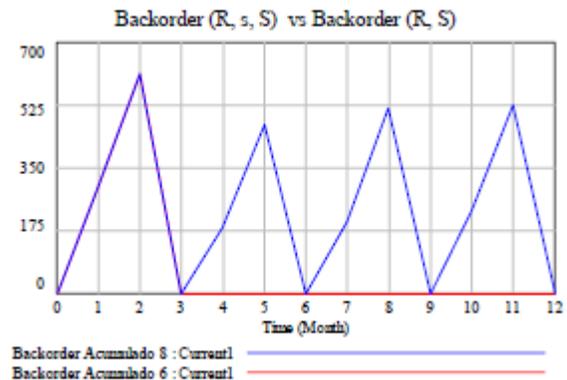


Figura 12. Comparación de Backorder (R, s, S) vs (R, S)

Fuente: elaboración propia

Por último el mejor sistema de control de inventario entra el R, S con venta perdida y Backorder es el de venta perdida, aunque en los dos casos obtuvieron el mismo nivel de servicio, el CTR en el sistema R, S con ventas perdidas fue menor.

## V. PLANTEAMIENTO Y SIMULACIÓN DE POLÍTICAS

De acuerdo con los resultados obtenidos de la simulación de 4 diferentes políticas para un mismo problema, se recomienda que la compañía aplique una política de control de inventario (R, S) para el Vaso de 14 onzas traslucido WAU, donde se revisará el inventario efectivo una vez al mes y, se ordenará una cantidad tal que permita que el inventario efectivo alcance las 1.000 unidades (capacidad máxima de almacenamiento). Esta política se realiza considerando un nivel de confianza de 1,64.

Considerando que este valor podría ser mayor o menor al anteriormente presentado, se realizó un análisis en el cual se varió el valor del nivel de confianza, con el objetivo de evaluar si la política escogida continuaría siendo factible en términos económicos una vez que su valor aumente.

El nivel de confianza se varió en 3 valores diferentes: 1,64, 1,95 y 2,32. Para un nivel de confianza del 2,32, el nivel de servicio fue del 99% y se obtuvo un CTR del \$68,043. Comparando la variación el valor del CTR bajo la mejora en el nivel de confianza con el CTR de la situación actual de la empresa, se observa que el aumento es solo del 3,18%, lo cual sugiere que establecer una política (R, S) con un nivel de servicio del 99% para el ítem estudiado es una mejor opción, dado que los niveles de inventario aumentarían permitiendo que sean menores las unidades que se dispondrán como ventas perdidas, así mismo el incremento en el CTR es relativamente bajo comparado con la mejora del aumento en el nivel de servicio. A continuación se muestra la tabla con los datos correspondientes:

Tabla 3. Variación En el nivel de confianza vs Variación en el CTR  
Fuente: elaboración propia

Política	Nivel de confianza	CTR	Aumento
R, S	1,64	\$ 65.949	0%
	1,95	\$ 66.903	1,45%
	2,32	\$ 68.043	3,18%

### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para el análisis de sensibilidad se decidió analizar la política R, S para el caso de ventas perdidas y la política R, s, S para el Backorder cuando se presenta variabilidad en los parámetros como la Demanda y la Capacidad Máxima de Almacenamiento. Para la política R, S se obtuvo que los límites exteriores indican valores máximos de aproximadamente 11600 unidades y un valores mínimos de aproximadamente 7200 unidades al final de la simulación para el inventario a la mano, estos valores son muchos más grandes que las 250 unidades de la política R, S sin la variación de los parámetros nombrados con anterioridad por lo cual se tiene un nivel de servicio del 100%.

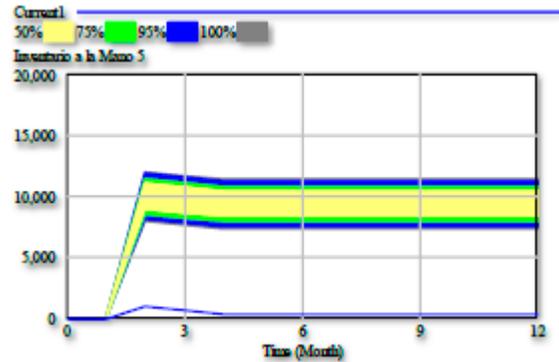


Figura 13. Inventario a la mano (R, S)  
Fuente: elaboración propia

Para la política R, s, S se presentó el mismo comportamiento de la política R, S, para una incertidumbre del 100% se obtuvieron límites entre 4000 y 11000 unidades al final de la simulación para el inventario a la mano, por lo cual se tiene un nivel de servicio del 100% dado que la demanda tiene un máximo de 400 unidades muy por debajo del inventario a la mano.

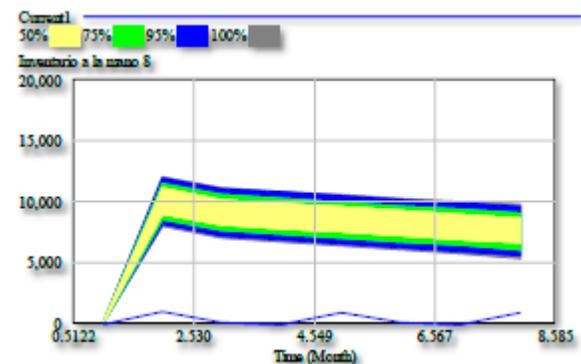


Figura 14. Inventario a la mano (R, s, S)  
Fuente: elaboración propia

### VI. CONCLUSIONES

Para el caso de estudio puntual en ambos escenarios, ventas perdidas y Backorder, el sistema (R, S) presenta los mejores niveles de servicio con un costo total relevante que no difiere significativamente del menor valor obtenido en ambos casos. El exceso en costo se justifica si se tiene en cuenta que los niveles de servicio obtenidos con los demás sistemas son deficientes y representan para la empresa pérdida de clientes y de imagen y con ello pérdida de ganancias.

La unión de los estudios de [3] y [4] con el escenario de Backorder para sistemas (s, S) y (R, s, S) que se desarrolla en el presente trabajo permitió tener una

visión más completa de las diferencias en comportamiento que pueden presentarse teniendo en cuenta las condiciones particulares de un caso de estudio real.

Cabe resaltar la importancia de un sistema de control adecuado para una empresa: si se selecciona un sistema de control de inventario erróneo, esto puede llevar a tener niveles de servicios bajos, exceso de unidades que generan un elevado costo de mantenimiento o por el contrario faltantes en las referencias más necesitadas por los clientes.

Con respecto al análisis de sensibilidad se puede apreciar que cambios en la capacidad máxima de almacenamiento de productos lleva a que políticas que tienen como criterio pedidos variables (depende de la capacidad máxima) aumenten sus niveles de inventario a la mano y a su vez el nivel de servicio al cliente.

Por último la política de control de inventario que se debe implementar para el artículo estudiado es la (R, S) con un nivel de confianza de 2,32; debido a que aunque tiene un costo un poco mayor obtenido con el sistema aplicado por la compañía actualmente, ofrece un nivel de servicio del 99%.

## REFERENCIAS

- [1] VIDAL, Carlos; Fundamentos de gestión de inventarios; Facultad de ingeniería, Universidad del Valle; Colombia; 2010.
- [2] Sipper, D; Bulfin, J. (1999). Planeacion y Control de la Produccion - Sipper y Bulfin jr 70MB.pdf. Mc Graw Hill.
- [3] OSORIO, Juan; CIFUENTES, Jennifer; Comparación de sistemas de inventarios con dinámica de sistemas; IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas y II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas; 2011.
- [4] OSORIO, Juan; MORALES, Lily; LÓPEZ, Diego; MOCK KOW, Juan; Estudio dinámico de sistemas de inventario con demanda probabilística; X Congreso Latinoamericano, III Congreso Brasileño y I Congreso Argentino de Dinámica de Sistemas; SF.

## 26. ESTUDIO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS BAJO APROVECHAMIENTO Y SU IMPACTO EN LA VIDA ÚTIL DE UN RELLENO SANITARIO

### STUDY OF A MODEL OF SOLID WASTE MANAGEMENT UNDER DEVELOPMENT AND ITS IMPACT ON THE LANDFILL

SERGIO STEVEN APOLINAR ORTEGA, ANGIE AZCÁRATE, JULIÁN CHINCHILLA, JUAN DAVID GRAJALES, ÁNGELO HERNÁNDEZ, PAOLA ANDREA PRADO RAMOS

Universidad del Valle - Colombia

sergio.apolinar@correounivalle.edu.co, angie.azcarate@correounivalle.edu.co, julian.chinchilla@correounivalle.edu.co, Grajales.juan@correounivalle.edu.co, angelo.hernandez@correounivalle.edu.co, paola.a.prado@correounivalle.edu.co

#### ABSTRACT

In this paper a model of solid waste management is studied by dynamic simulation based on the model of Santiago de Cali in order to analyze the influence of recycling practices, the benefit on the environment and the life of the landfill. This article provides information and scenarios to implement projects that are characterized by suitable methods of harvesting and recycling practices that reduce disposal costs and extend the life of landfills.

**KEYWORDS:** Residential solid waste, residential solid waste management, landfill, population of recyclers.

#### RESUMEN

En el presente trabajo se estudia un modelo de Gestión de Residuos Sólidos mediante la simulación dinámica tomando como base el modelo de Santiago de Cali - Colombia, con el fin de analizar la influencia de las prácticas de aprovechamiento el beneficio ambiental y su impacto en la vida útil del relleno sanitario. Este artículo brinda escenarios e información para ejecutar proyectos que se caractericen por los métodos adecuados de recolección y aprovechamiento que disminuyan costos de disposición final y extiendan la vida útil de los rellenos sanitarios

**PALABRAS CLAVE:** Residuos Sólidos Residenciales, Modelos de Aprovechamiento, vida útil relleno sanitario.

#### 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LA LITERATURA.

La Generación de residuos sólidos es un tema de interés general y complejo por los diversos factores influyentes que establecen un sistema que intuitivamente no se puede abordar, debido a esto el pensamiento sistémico ofrece herramientas como la simulación dinámica que permite conocer el comportamiento del sistema mostrando las falencias y aspectos a mejorar. Lo anterior es una ventaja importante porque esta herramienta permite tomar decisiones a largo plazo dejando de lado el pensamiento intuitivo y estudiando el problema de manera objetiva y sistémica, de esta manera la dinámica de sistemas es

ideal para abordar las dinámicas complejas de los residuos sólidos y abre las puertas para futuras investigaciones.[1]

Existen diversos artículos, investigaciones y trabajos que abordan la temática de los residuos sólidos mediante la dinámica de sistemas, tanto a nivel general como específico, por esta razón los organismos gubernamentales estudian el comportamiento de la Gestión Integral de Residuos Sólidos a través de la simulación dinámica de sistemas, esto se debe principalmente a que una simulación del modelo de gestión permite abstraer la realidad y analizar su comportamiento [2].

La complejidad de los Residuos Sólidos Residenciales (RSR) desde la dinámica de sistemas se ha visto estudiada por varios autores, y en lo que concierne al presente trabajo se encuentra que la simulación dinámica ha permitido realizar una aproximación al comportamiento actual de los residuos sólidos residenciales mediante investigaciones, modelos de simulación y estimaciones sobre la disposición final en los rellenos sanitarios, lo cual es un logro destacable debido a la importancia de esta estimación [3].

## 2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE RSR.

La cantidad de residuos sólidos depende principalmente de generación de residuos por parte de la población, y de manera secundaria de los hábitos de consumo; esto puede verse reflejado en la caracterización de los RSR, la cual brinda una aproximación fiel a la dinámica diaria de la generación, y de igual manera la caracterización de los residuos brinda información sobre las diversos materiales en la disposición final. [4] Los residuos son elementos resultantes de actividades productivas, considerados carentes de valor y de los cuales es necesario deshacerse, por esto los modelos de gestión de residuos sólidos contemplan intermediarios entre la población generadora y la disposición final, estas son empresas que se encargan de la recolección de los residuos sólidos, el manejo entre la población generadora y la disposición final [5].

El modelo de disposición final de residuos sólidos contempla, para las zonas urbanas lugares para la recolección, en los cuales se produce acumulación de basuras y son sometidos a prácticas inadecuadas, ocasionando contaminación, creando repudio social hacia las basuras y generando una conciencia social y ambiental en el tema de las llamadas basuras [4].

Las empresas encargadas de los desechos transportan los RSR a los denominados rellenos sanitarios, los cuales cumplen con estrictas medidas de control sanitario y ambiental con el fin de disminuir el impacto ambiental. En consecuencia son el método efectivo más económico y aceptable de disposición final desde el punto de vista de la salud pública [6], sin embargo generan contaminación debido a generación de gases tóxicos y lixiviados convirtiéndose aun en una alternativa contaminante.

La vida útil de los sitios de disposición final o rellenos sanitarios se encuentra en función del volumen

disponible para continuar almacenando residuos, seguido a esto la cantidad de residuos que llegan a rellenos sanitarios depende de los residuos que llegan a ocupar volumen y de las técnicas de aprovechamiento antes de la disposición final para la reducción de los mismos. Entre la población las empresas encargadas de la disposición final, aparecen poblaciones para las cuales los residuos presentan valor y ante condiciones sociales difíciles se ven obligados a subsistir mediante la recolección y venta del material reciclable. Estos inician una cadena de valor y conforman en la actualidad un sistema informal de reciclaje, el cual a pesar del poco apoyo gubernamental, consigue resultados considerables a largo plazo [7]. A esta población aprovechadora del material se les ha denominado recuperadores, y en algunas regiones de Latinoamérica se les llama "recicladores".

Para la valorización de los residuos debe tener en cuenta que se encuentran en función de su potencial para ser aprovechados como materia prima en un nuevo ciclo productivo, de igual manera las prácticas de aprovechamiento por parte de las industrias facilitan que un tipo de residuos sea más valioso que otro porque existe un mercado capaz de absorber el residuo. Por esto se crea una relación entre la demanda de la industria de materia prima para ser reciclada y los recicladores. Cabe anotar que existe una demanda insatisfecha lo cual eleva los precios de compra por parte la industria y hace las prácticas de aprovechamiento rentables y generan el aumento del empleo para esta población [8].

### 2.1 DESCRIPCIÓN SISTÉMICA DEL MODELO DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

En la figura 1 se conceptualiza la generación de RSR en función de la población la cual aumenta la cantidad de residuos para el relleno sanitario y tienen en cuenta la reducción por aprovechamiento de estos en el mismo; de esta manera los RSR suelen tomar dos caminos, el nuevo ciclo productivo o el de disposición final, así entonces la contaminación es un efecto de los concurrentes de los RSR en el relleno sanitario y afecta a la población por lo cual existe una respuesta considerada como conciencia ambiental en el modelo (B1). Siguiendo la ruta del nuevo ciclo productivo, el modelo contempla las prácticas de aprovechamiento que son consideradas y detalladas de manera posterior en los loops de los modelos de aprovechamiento (B2), y de los cuales surgen las materias primas recicladas y los productos agrícolas orgánicos.



[16], los diversos tipos de plásticos [17] su comportamiento general, y trae a colación la reducción del uso de combustibles fósiles, y la reducción de emisiones atmosféricas [18], debido a que el reciclaje de las resinas plásticas son una actividad fundamental para la conservación del medio ambiente y la reducción en la disposición final [19].

## 2.6. MODELO DE RSR ORGÁNICOS

El modelo también tiene en cuenta los RSR orgánicos puesto que poseen la proporción más alta de

generación [20], la oportunidad de comercialización de los RSR Orgánicos, identificada en el bucle B10 de la figura 5, y su reincorporación al ciclo productivo y al mercado mediante la generación de compostaje y su uso en cultivos agrícolas para beneficio de los suelos. [21]. De esta manera se realiza la reducción de RSR orgánicos en el relleno, seguido de la reducción de lixiviados y emisiones atmosféricas de gases de invernadero. [22][23][24].

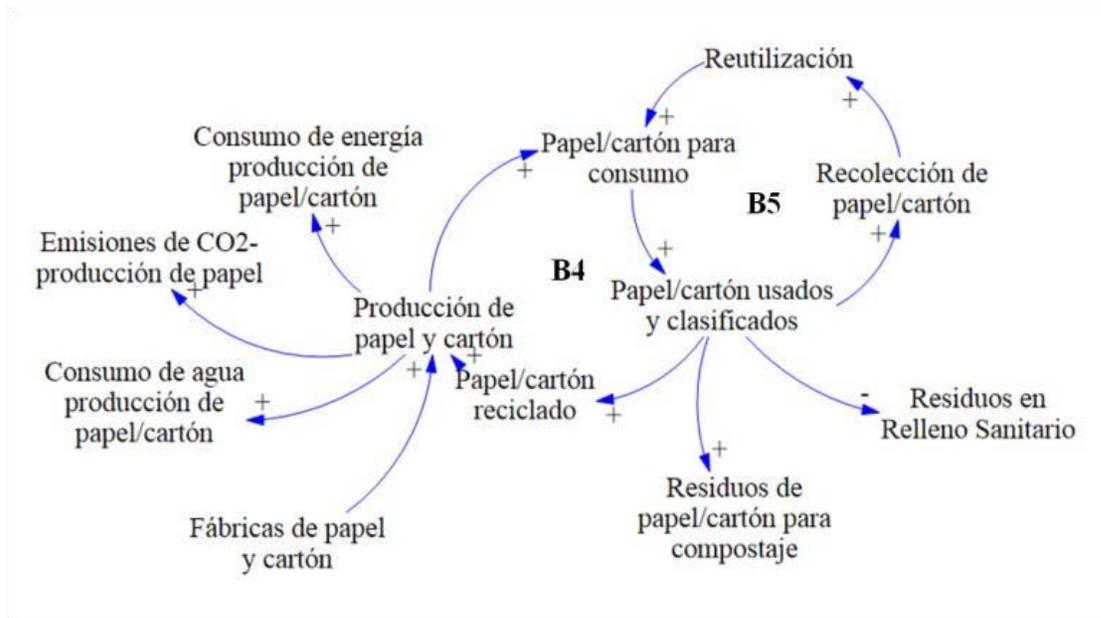


Figura 2 Diagrama de influencias para la gestión de los residuos de papel y cartón.

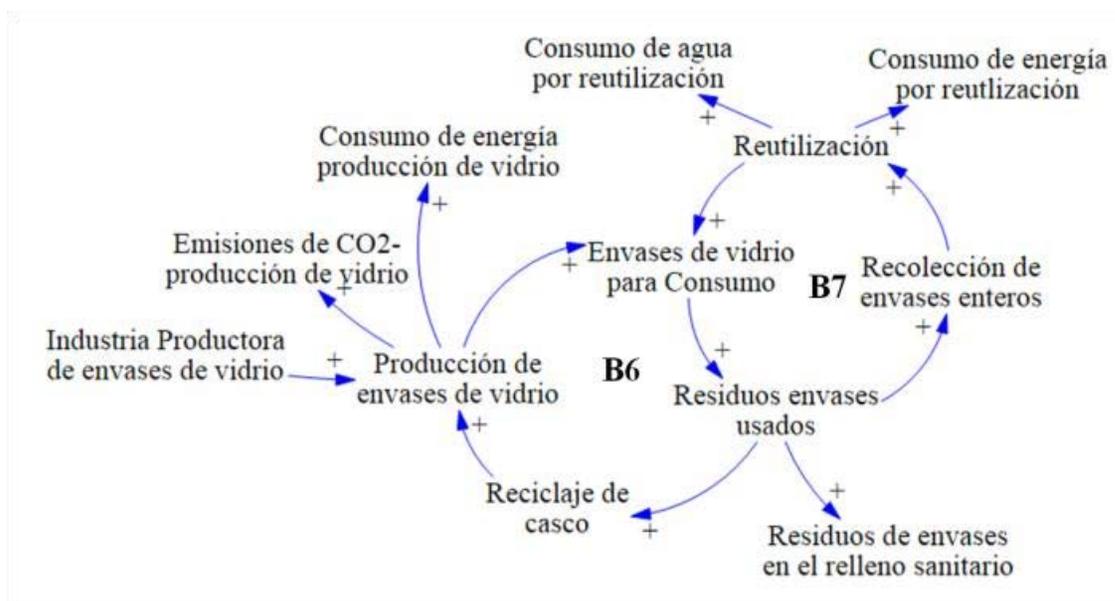


Figura 3 Diagrama de influencias para la gestión de los residuos de vidrio.

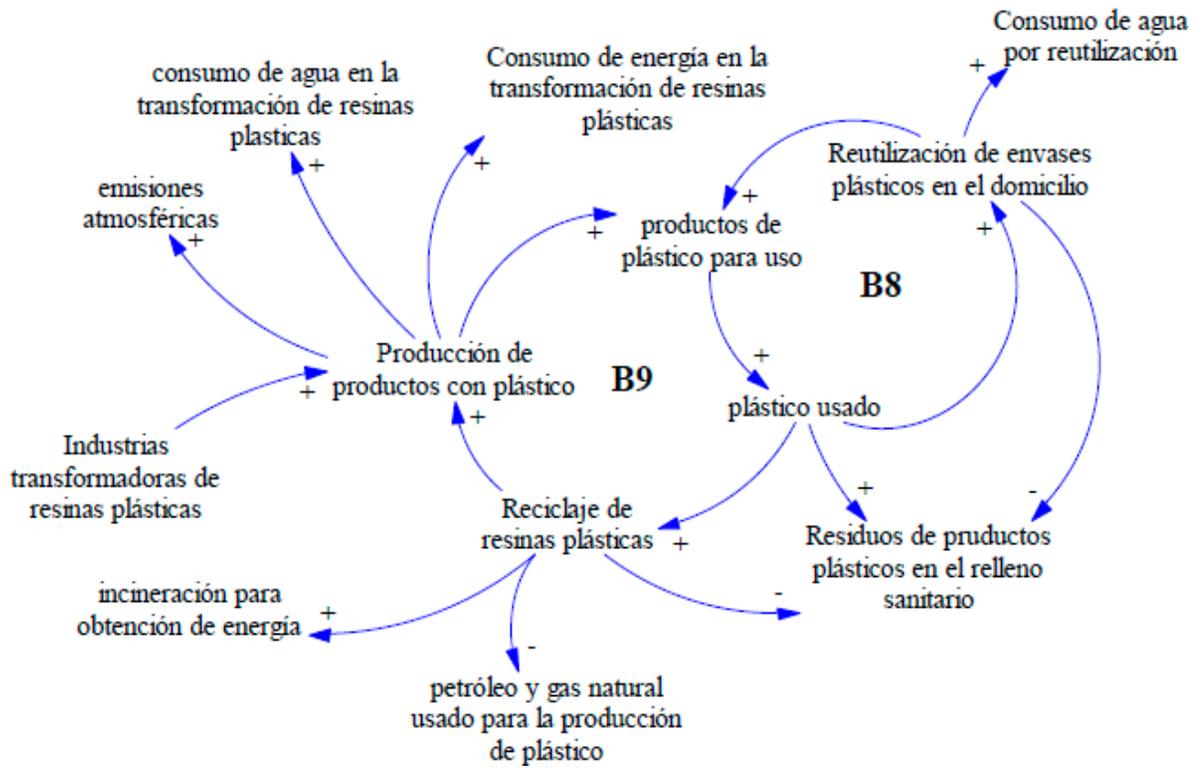


Figura 4 Diagrama de influencias para la gestión de los residuos de plástico.



Figura 5 Diagrama de influencias para la gestión de los residuos orgánicos.

### 3. SIMULACIÓN DINÁMICA DEL MODELO, RESULTADOS, CONCLUSIONES.

Con el fin de observar el comportamiento del modelo se simula y se valida el modelo de GRSR con valores y estadísticas para la ciudad de Santiago de Cali Colombia con el relleno El Guabal ubicado en el municipio de Yotoco el cual tiene una capacidad para albergar 19'000'000 toneladas.[25][26][27].

Debida la extensión del resumen para la participación en el Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, El grupo de estudio presentara en el archivo en extenso, la simulación dinámica, los resultados y conclusiones.

### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Counterintuitive Behavior of Social Systems, Jay W. Forrester. Pág., 6.

[2] Formulación del plan de gestión Integral de residuos sólidos Regional del Valle del Aburra PGIRSR, Proyecciones de generación y gestión de residuos sólidos con Dinámica de sistemas, Universidad de Antioquia Convenio N325 de 2004 Pág. 14.

[3] C. Pretel, J. C. Osorio, P.C. Manyoma, "Estimación del ciclo de vida útil de un relleno sanitario aplicando un modelo de dinámica de sistemas" Memorias del XI Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas México 2013, ISBN: 978-607-501-252-0, p 73-81.

[4] Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle y Departamento Administrativo de Planeación Municipal de la Alcaldía de Santiago. Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en el municipio de Cali.

[5] Congreso Colombiano de la Republicad de Colombia Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos".

[6] Tchobanoglous G.; Theissen H., Eliassen R. Desechos sólidos. Principios de Ingeniería y Administración; Serie: Ambiente y los Recursos Naturales Renovables AR-16,1982, Pág.1-2.

[7] Estudio Sobre el Aprovechamiento del aprovechamiento realizado por los recicladores en un relleno sanitario.

[8] Corredor M.; El Sector Reciclaje en Bogotá y su Región: Oportunidades para los Negocios Inclusivos; Serie Guías Sectoriales No. 2; 2010; Cap. I; Pág. 40.

[9] Empresarial Bancolombia Grupo Bancolombia. Futuro Del Papel Como Insumo Industrial. 2007.

<http://www.grupobancolombia.com/empresas/telecomunicaciones/doc/FUTURODELPAPEL.pdf>.

[10] Informe condensado del estudio Nacional de reciclaje agosto 2011, Pág. 4. Papel, cartón y tetrapack.

[11] Reciclaje papel y cartón en Colombia 22 Agosto de 2012, Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, ANDI

[12] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. – Manual 1 Generalidades, Bogotá D.C, diciembre de 2008.

[13] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. – Manual 2 Plástico y vidrio, Bogotá D.C. diciembre de 2008

[14] Informe condensado del estudio Nacional de Reciclaje final, agosto de 2011.

[15] A. L. Cervera, Envase y embalaje, segunda edición, Madrid, 2003, Materiales y embalaje, Pág. 142

[16] Diseño de la cadena de valor del reciclaje del plástico en la ciudad de Cali, FAIZULLY IDARRAGA PÉREZ y OSCAR ANDRES OSSA FIGUEROA, Proyecto de Grado, Universidad Autónoma de Occidente Cali

[17] Informe condensado del estudio Nacional de reciclaje agosto 2011, 3. Resinas plásticas

[18] WALLACE BILLMEYER, Fred. Ciencia de los polímeros. Editorial Reverte, Barcelona, 2008.

Pág. 261

[19] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, sector plástico, Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo

[20] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MESA NACIONAL DE RECICLAJE, Mayo de 2007, Pág. 12

[21] Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Septiembre 2012. Pág. 3-5.

[22] Efecto De Las Fuentes Orgánicas Obtenidas De Los Subproductos Agroindustriales De La Caña De Azúcar Y El Plátano Sobre La Actividad Microbiana Y Enzimática En El Suelo, Claudia Alejandra

SALAMANCA ROMERO, Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira 2008, Pág. 6, 14.

[23] LOS FERTILIZANTES Y SU USO, Cuarta edición, revisada, FAO e IFA. Roma, 2002, Pág. 5, ISBN 92-5-304414-4

[24] Tchobanoglous G.; Theissen H., Eliassen R. Desechos sólidos. Principios de Ingeniería y Administración; Serie: Ambiente y los Recursos Naturales Renovables AR-16,1982, Pág.30-32.

[25] Noguera Katia M. y Jesús T. Olivero (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. Revista Academia Colombiana de Ciencias. 34 (132): 347-356.

[26] Departamento Administrativo de Planeación Municipio de Santiago de Cali; Cali en cifras. [Http://planeacion.cali.gov.co/dapweb/index.asp](http://planeacion.cali.gov.co/dapweb/index.asp) [Citado 20 de abril de 2014].

[27] Proyecto Cali Visión; Tendencias Eje Desarrollo Territorial y Medio Ambiente; [www.cali.gov.co/alcaldenlinea/descargar.php?id=30618](http://www.cali.gov.co/alcaldenlinea/descargar.php?id=30618). [Citado 7 de abril de 2014].



**Angelo V. Hernández García** Estudiante de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle.



**Paola A. Prado** Estudiante de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle.

## AUTORES



**Sergio S. Apolinar** Estudiante de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle.



**Angie A. Azcárate** Estudiante de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle.



**Christian J. Chinchilla** Estudiante de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle.



**Juan D. Grajales** Estudiante de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle.



## 27. ANALYSIS OF POPULATION AND ECONOMIC DYNAMICS OF AN INFRASTRUCTURE PROJECT FROM DS

**MARÍA ADELAIDA TORRES SÁNCHEZ, YULIANA ACEVEDO SÁNCHEZ, ISABEL CRISTINA GÓMEZ RAMÍREZ AND GABRIEL AWAD**

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín - Colombia  
matorres@unal.edu.co, yaceved@unal.edu.co, icgomezr@unal.edu.co, gawad@unal.edu.co

### ABSTRACT

The construction of an infrastructure project directly affects the use that people make of the territory and the elements on which they exert ownership and develop their sense of belonging. The impacts generated by these projects are usually compensated economically. The aim of this paper is focused on analyze the effects of an infrastructure project in the investment, consumption and migration, taking into account compensation policies given by the change in land use. First, it is contextualized and defined the compensation in an infrastructure project. Subsequently, the dynamic hypotheses in which the simulation model is based are presented. Finally, the results obtained to evaluate different compensation policies are presented. It is concluded that the construction of an infrastructure project has significant effects on the behavior of investment, the traditional productive activity and the incomes.

**KEYWORDS:** system dynamics, population dynamics, economic dynamics, infrastructure project.

### I. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de infraestructura generan grandes impactos en su área de influencia, los cuales cambian la dinámica económica y poblacional de los territorios. Algunos impactos negativos son compensados económicamente por el proyecto, específicamente el cambio en el uso del suelo. En este documento, se hace uso de un modelo de simulación para comprender mejor el fenómeno que se presenta y se evalúan diferentes políticas de compensación para analizar los efectos de la misma sobre las dinámicas del territorio y mejorar así la gestión de los proyectos. En las siguientes secciones, se realiza un acercamiento conceptual y legal a la compensación que deben realizar los proyectos de infraestructura, centrándose en los cambios en el uso del suelo. Luego, se plantea un modelo dinámico donde se consideran las dinámicas poblacionales, la oferta y demanda de bienes y servicios, la inversión y la compensación. La herramienta seleccionada para realizar la simulación del modelo fue Powersim Studio

### II. COMPENSACIÓN EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

Los proyectos de infraestructura se realizan para que la sociedad tenga las obras que necesita para garantizar el bienestar general [1]. Para la ejecución de este tipo de proyectos es necesario disponer de los terrenos necesarios para su construcción y operación, en este sentido la Constitución Política de Colombia de 1991 garantiza que el interés general prima sobre el particular, lo cual justifica la ejecución de obras que generen bienestar, sin embargo, también garantiza la propiedad privada, y establece que cuando se presentan conflictos entre los derechos de propiedad de particulares con las obras que se pretendan realizar, el interés privado debe ceder al interés público o social [2].

En este sentido, la ejecución de proyectos de infraestructura exige que se realice una compensación por los predios que se requieren, la cual se puede dar vía negociación directa o expropiación, considerando siempre los intereses de la comunidad y del afectado [2]. Dentro de los proyectos que se consideran de bienestar general, se pueden encontrar los proyectos viales y los

relacionados a la ejecución de obras para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica [3-4].

Para determinar los valores que se han de pagar a los propietarios de los predios que se requieran para el desarrollo de los proyectos relacionados a energía eléctrica, se debe integrar una comisión tripartita compuesta por un representante de la empresa propietaria del proyecto, un representante designado por los propietarios de los predios afectados por el mismo, y un representante del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, quienes deben tener experiencia comprobada en avalúos de bienes inmuebles y ser profesionales titulados.

Esta comisión debe elaborar un manual con los valores unitarios que se utilizan de base para liquidar los inventarios de los bienes que se afectan con la obra, determinar el avalúo comercial de los predios, y dirimir los conflictos que se presenten en la determinación de inventarios y áreas, este manual debe ser aprobado por el Ministerio de Minas y Energía. Para el avalúo de cada predio, la comisión debe considerar tanto los elementos físicos como primas especiales de reubicación familiar y de negocio [3].

En el año 2008 se declaran de utilidad pública y bienestar general los predios necesarios para el proyecto hidroeléctrico Ituango [5]. Y en año 2009 la autoridad ambiental otorga la licencia ambiental [6], que es la autorización para la ejecución de la obra, sujeta al cumplimiento de los requisitos que la misma establezca en relación con el manejo de los efectos ambientales que genere el proyecto [7].

El cambio en el uso del suelo es un impacto negativo directo que genera la hidroeléctrica que debe ser compensado por la misma, y de acuerdo a la normatividad colombiana, los proyectos deben establecer medidas de compensación para resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por un proyecto [8].

De acuerdo a la licencia ambiental, el proyecto debe compensar la pérdida de 4140,42 ha de suelo necesarias para las actividades de construcción de infraestructura y llenado del embalse. Es necesario precisar que esta compensación es adicional, a la establecida por la afectación de la cobertura vegetal, ya que en total la empresa debe comprar en total 17.286,82 ha [9]. Para lo cual se crea en el año 2010 el Manual de Valores Unitarios, que establece el valor a compensar

por el suelo en el área de influencia directa del proyecto [10], como se muestra en la Tabla 1.

TABLA I. VALORES COMPENSACIÓN/ ha [10]

Área (ha)	Valor estimado (ha)
MAYORES A 1000	1.200.000
ENTRE 500-1000	1.500.000
ENTRE 100-500	1.800.000
ENTRE 50-100	2.000.000
ENTRE 20-50	3.000.000

### III. HIPÓTESIS DINÁMICAS

Las hipótesis dinámicas surgieron a partir del análisis de la dinámica de la compensación en un proyecto público de infraestructura. Se consideraron las variables: emigración, población, inmigración, inversión, oferta y demanda de bienes y servicios, nivel de precios, empleo, ingresos, expectativas económicas, cambio en el uso del suelo, actividad productiva tradicional y compensación. A continuación, se presenta la relación entre ellas y el diagrama causal de la compensación.

#### A. Dinámica poblacional:

En general, la población de una comunidad o el número de hogares en un mercado crece con el tiempo a través de los nacimientos, las muertes y la migración [11]. Específicamente, la construcción de un proyecto de infraestructura impacta de manera significativa la inmigración y emigración de personas en la zona de influencia. Por tanto, dichas variables fueron incluidas dentro del análisis dinámico como se puede observar en la Figura 1.

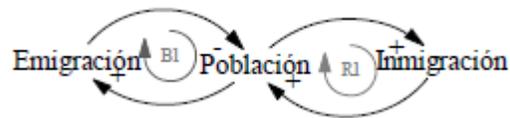


Figura 1. Diagrama causal población.

Adicionalmente, la emigración se da principalmente hacia aquellos lugares de la zona de influencia donde sus habitantes podrán recibir una compensación económica por compra de predios o cambio en la actividad productiva. Por su parte, la inmigración al área de influencia se presenta debido al aumento de las expectativas económicas por la inversión en la zona y las oportunidades de empleo que puede generar por el proyecto de infraestructura [12].

### B. Dinámica de inversión:

Por medio de la Dinámica de Sistemas se ha intentado comprender la economía y sus variables claves, ya que ella se comporta como un sistema de flujos continuos y en permanente desequilibrio [13]. En este sentido, una de las variables que se puede analizar con esta herramienta es la inversión.

La inversión, desde la perspectiva económica, es vista como la creación de activos, es decir, implica la instalación, ampliación o reposición de industrias, la construcción de infraestructuras, la adquisición o renovación de ciertos bienes, la creación de nuevos procesos o el desarrollo de tecnologías nuevas [14]. Por lo tanto, la construcción de un proyecto de infraestructura acarrea una serie de inversiones en su área de influencia, la cual tiene ciertos impactos. En primer lugar, se da un cambio en el uso del suelo ya que la inversión y el desarrollo de obras del proyecto implica la adquisición de predios y por ende el cambio de tenencia y uso del suelo que de forma tradicional realizaban las comunidades de la zona.

Por otro lado, las expectativas económicas son vistas como las creencias que generan las personas sobre el valor futuro de variables económicas y tienen un papel fundamental en la toma de decisiones. Precisamente, la inversión en un proyecto de infraestructura genera expectativas económicas en las personas de los municipios del área de influencia y por ello esta relación también fue considerada dentro del modelo.

Finalmente, la inversión afecta la oferta de bienes y servicios en la zona de influencia. Dicha oferta está relacionada también con el nivel de precios y la demanda, lo cual es explicado a continuación.

### C. Dinámica de oferta y demanda:

En diversos modelos económicos, el precio es función de la oferta y la demanda de bienes y servicios. Sterman presenta el proceso de formación de precios de un mercado de productos básicos a través de dos ciclos de balance [11]. En la Figura 2 se puede observar lo anterior.

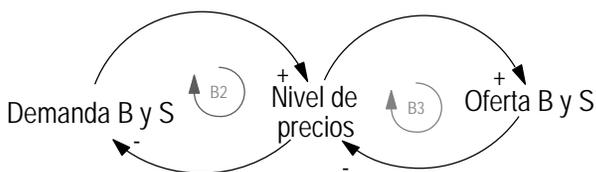


Figura 2. Diagrama causal nivel de precios.

El precio de mercado de cada producto en particular está regulado por la proporción entre la cantidad de esta que en realidad es llevada al mercado, y la demanda de quienes están dispuestos a pagar el precio natural de la mercancía. Cuando la cantidad de cualquier producto que se lleva al mercado es insuficiente para cubrir la demanda efectiva, es imposible suministrar la cantidad requerida para todos aquellos que están dispuestos a pagar el valor de la mercancía. Algunos de ellos estarán dispuestos a pagar más para no renunciar a la mercancía. Por tal razón, una competencia entre ellos comenzará inmediatamente y el precio de mercado subirá más o menos por encima del precio natural [15]. Similarmente, cuando la oferta excede a la demanda el precio de mercado disminuirá más o menos por debajo del precio natural, menos compradores estarán dispuestos a pagar más, como la demanda cae los precios tienden a caer formando un ciclo negativo. Al mismo tiempo, precios más altos aumentan el beneficio de los productores, lo cual atrae a nuevos participantes al mercado y fomenta el aumento de la producción de los participantes existentes. A medida que aumenta la oferta, los precios bajan [15].

Además del precio, la demanda de bienes y servicios está influenciada por los ingresos. Esta relación ha sido ampliamente estudiada por los economistas. Un aumento en los ingresos de un individuo hace que la cantidad de bienes y servicios adquiridos aumenten [16]. Para el caso de estudio, esta relación es dada con las variables: ingreso y compensación que se presentan en el área de influencia.

Para el análisis de la oferta, se analizan la actividad productiva tradicional y la inversión como variables que la afectan y al empleo como variable impactada por ella. Al aumentar la inversión se dispone de mayor capacidad para aumentar la oferta de bienes y servicios [16]. Por su parte, la actividad productiva tradicional hace referencia a las actividades que se desarrollaban antes del inicio de obras. En la siguiente figura se muestra uno de los ciclos del modelo, en el cual influye la dinámica de oferta y demanda.

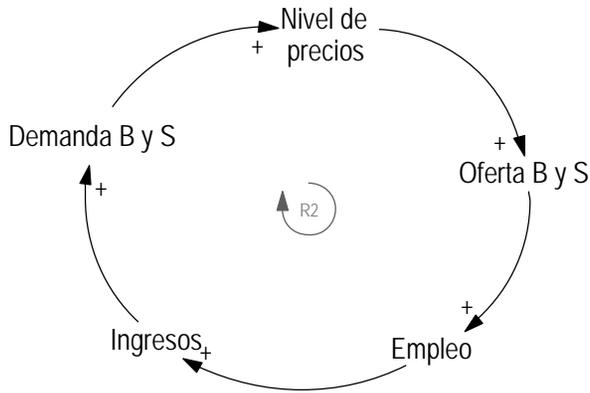


Figura 3. Diagrama causal oferta y demanda.

**D. Dinámica en el cambio en el uso del suelo:**

Como se mencionó anteriormente, en el desarrollo de proyectos de infraestructura pública se declara el suelo requerido como de utilidad pública e interés social por lo que su tenencia y uso cambia. Consecuentemente, la población que desarrollaba actividades productivas en los sectores primario, secundario y/o terciario dentro de los predios requeridos se ve obligada a cambiar su vocación productiva, lo cual disminuyen la actividad productiva tradicional de la zona. En la figura 4, se muestra como dicho cambio de uso del suelo está relacionado con la actividad productiva tradicional y repercute en la dinámica de oferta e inversión.

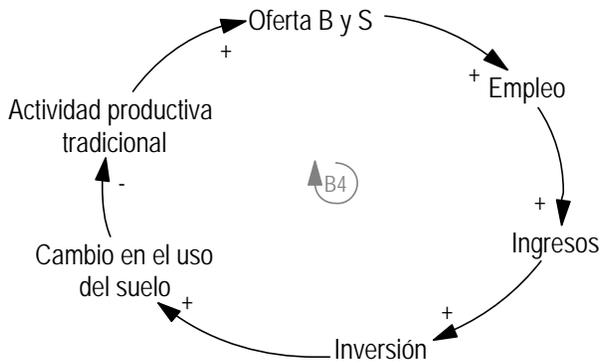


Figura 4. Diagrama causal cambio en el uso del suelo-actividad productiva tradicional.

Por otro lado, con el propósito de resarcir los perjuicios generados por el proceso de adquisición predial por motivos de utilidad pública e interés social, se reconoce una compensación económica a la población afectada. Lo cual, a su vez genera expectativas económicas y la llegada de personas de otras zonas al territorio para hacerse pasar por afectados y buscar dicha compensación [12].

En las Figura 5 y 6 se plantean los efectos de la compensación por el cambio en el uso del suelo.

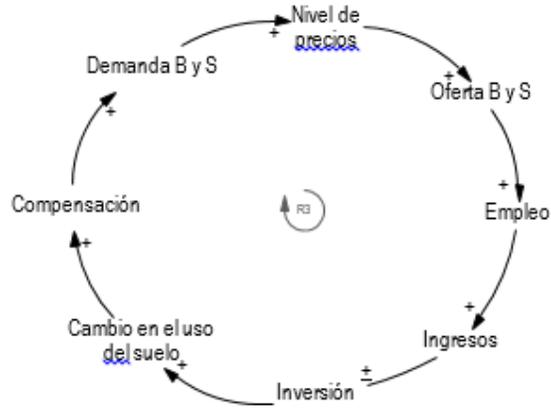


Figura 5: Diagrama causal cambio en el uso del suelo - compensación

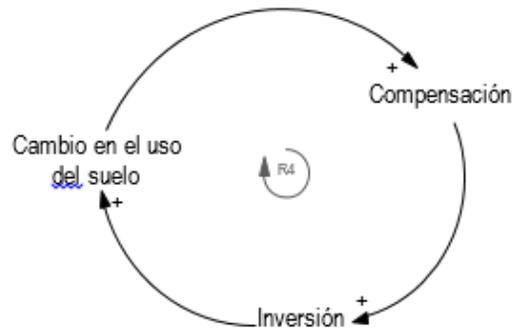


Figura 6. Diagrama causal compensación-inversión.

Como resultado de la integración de las dinámicas anteriores se obtiene el diagrama causal en torno a la compensación presentado en la Figura 7.

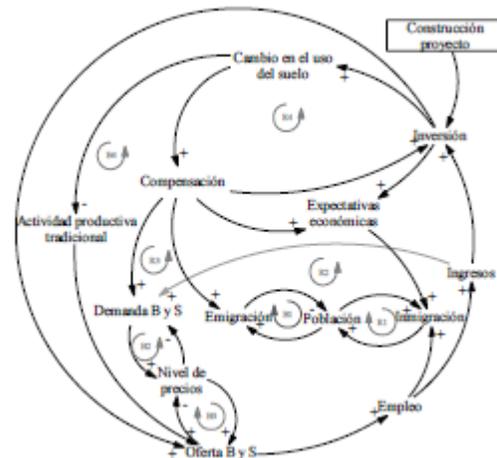


Figura 7. Diagrama causal de la compensación.

En la figura 8 se presenta el diagrama de flujos y niveles.

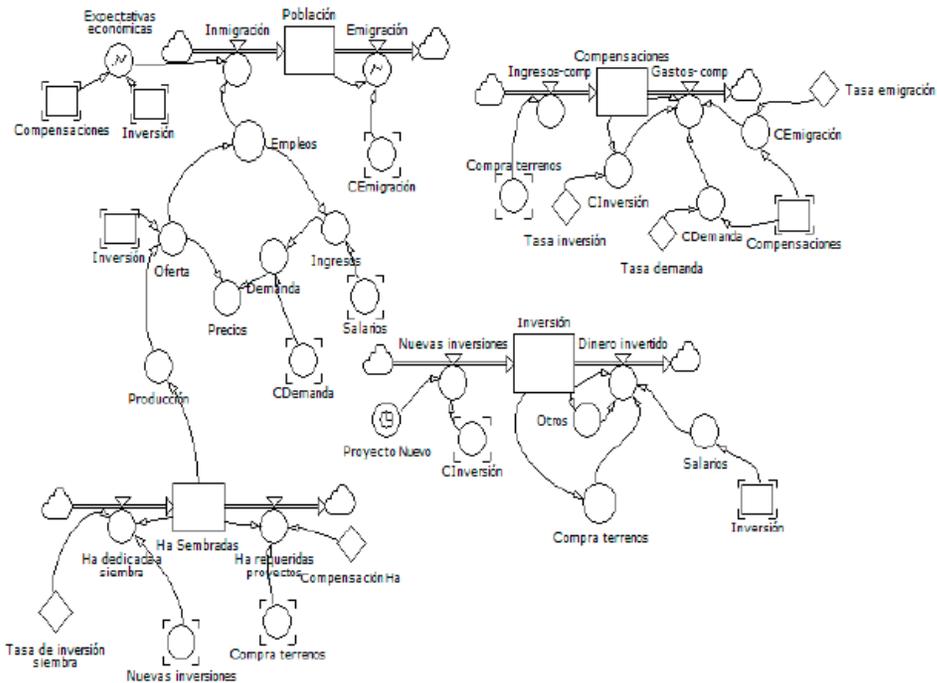


Figura 8. Diagrama de flujos y niveles

#### IV. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la simulación del modelo.

En las figuras 9 y 10 se presenta el comportamiento de la población. Los proyectos con inversiones muy altas hace que la tasa de inmigración al inicio del proyecto sea muy alta y la de emigración muy baja, caso contrario al final del proyecto.

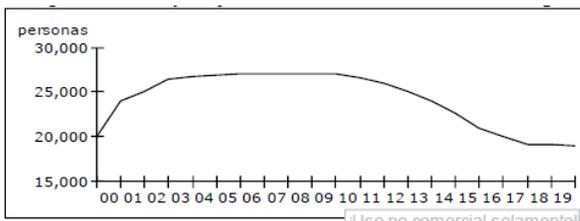


Figura 9. Comportamiento de la población en el tiempo

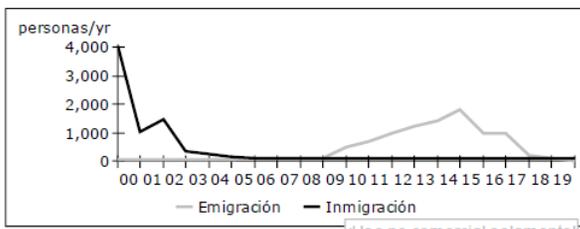


Figura 10. Comportamiento de la migración en el tiempo

En cuanto a la compensación, en la figura 11 se muestra que la destinación de estos recursos por parte de los habitantes de la región es principalmente en la demanda de bienes y servicios.

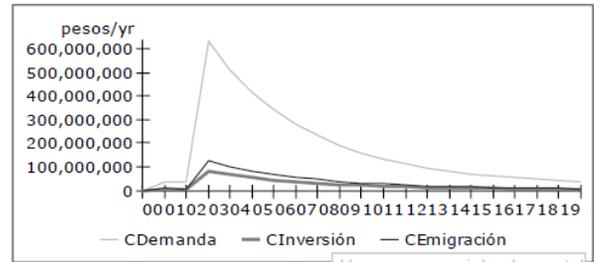


Figura 11. Destinación de la compensación

La compensación económica tiene un mayor impacto al inicio de la construcción del proyecto. Con el paso del tiempo tiende a cero debido a que la compensación ya se ha dado a la mayoría de afectados de la zona.

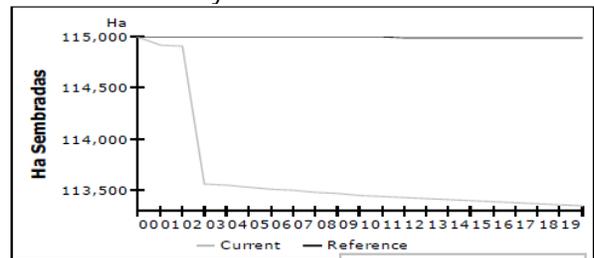


Figura 12. Hectáreas sembradas con y sin proyecto

En la figura 12 se presenta el comportamiento de la actividad productiva tradicional en función de las hectáreas sembradas. Un nuevo proyecto de infraestructura implica destinar unas hectáreas de tierra para el proyecto y por ende, cambiar el uso del suelo. Por lo cual, las hectáreas sembradas tienden a disminuir con el avance en la construcción.

Las siguientes figuras presentan un primer escenario en el cual los recursos obtenidos por compensación son destinados a emigración, consumo e inversión. Inicialmente se observa que la emigración se da en mayor medida cuando el proyecto está finalizando construcción. No se evidencia un efecto significativo de la compensación al inicio del proyecto porque la tasa de emigración es alrededor de 50 personas/año. (Figura 13).

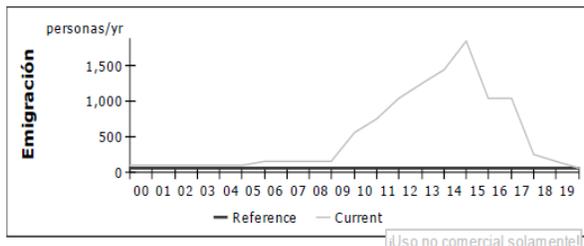


Figura 13. Comportamiento de la emigración en función de la compensación

Los efectos de la compensación en la inversión a largo plazo tienden a estabilizarse ubicándose por encima de la inversión que se daba antes en la zona sin proyecto. Los resultados muestran que el efecto sobre la inversión no es inmediato sino que es progresivo (Figura 14).

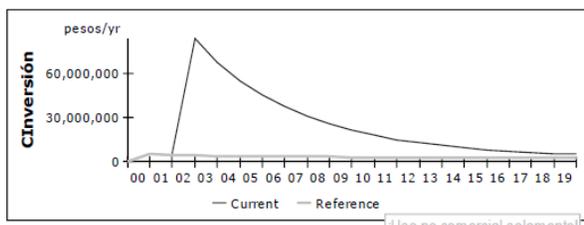


Figura 14. Comportamiento de la inversión en función de la compensación

#### IV. CONCLUSIONES

Este trabajo permite mostrar la aplicación de un enfoque de dinámica de sistemas para comprender mejor el fenómeno que se presenta alrededor de la construcción de un proyecto de infraestructura.

La compensación económica por el cambio en el uso del suelo tiene un impacto significativo en el consumo y la

inversión. En el caso de emigración, se presenta principalmente de las actividades derivadas de la construcción del proyecto y de la demanda de mano de obra.

El efecto de la compensación no se visualiza en único año, sino que su efecto sobre variables como el consumo y la inversión se observa por varios años.

La construcción de proyectos de infraestructura de gran envergadura implica que se abandone la actividad productiva tradicional y luego de terminado el proyecto, no se recupere nuevamente.

#### AGRADECIMIENTOS

Al proyecto MGSAl por los recursos aportados para participar en el Congreso.

#### REFERENCIAS

- [1] E. Ángel, S. Carmona, and L. Villegas. Gestión ambiental en proyectos de Desarrollo. Cuarta Edición. Medellín: Serie de publicaciones del Posgrado en Gestión Ambiental, 2007.
- [2] El Pueblo de Colombia, "Constitución Política de 1991." 1991.
- [3] Congreso de Colombia, "Ley 56 de 1981. Diario Oficial No. 35.856 de 5 de octubre de 1981." 1981.
- [4] Congreso de Colombia, "Ley 1682 Del 22 de Noviembre de 2013. Por la cual se adoptan medidas y disposiciones para proyectos de infraestructura y se conceden facultades extraordinarias.," 2013.
- [5] Presidente de la República de Colombia, "Resolución ejecutiva 317 de 2008. Por la cual se declaran de utilidad pública e interés social los terrenos necesarios para la construcción y operación del proyecto Hidroeléctrico Pescadero-Ituango." 2008.
- [6] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Resolución 0155 del 5 de diciembre de 2011, 'por medio del cual se modifica una licencia ambiental'." Dec-2011.
- [7] Congreso de Colombia, "Ley 99 de 1993. Diario oficial. Año cxxix. N. 41146. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema." 1993.
- [8] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Decreto 2041 del 15 de octubre de 2014 por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales." 2014.

[9] EPM Ituango, "Actualización del Estudio de Impacto Ambiental." 2011.

[10] Ministerio de minas y Energía., "Resolución No. 180577 del 9 de abril de 2010. Comisión tripartita Proyecto Hidroeléctrico Ituango."

[11] J. D. Sterman, Business dynamics, Irwin-McGraw-Hill, 2000.

[12] M. A. Torres, H. Caballero, and G. Awad, "Análisis de nuevas dinámicas territoriales por proyectos de infraestructura y su influencia en la generación de conflictos socio ambientales. Caso de estudio: Hidroituango," Universidad Nacional de Colombia, 2014.

[13] D. F. Gómez, and S. Aparicio, "Simulaciones de crecimiento económico colombiano con Dinámica de Sistemas," presented at 8° Congreso Latinoamericano y Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, 2011.

[14] E. B. Olano, "El sector externo y su incidencia en la ocupación en Colombia 1985-2006," Equidad & Desarrollo, no. 13, pp. 83-98, 2010.

[15] A. Smith, An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, Рипол Классик, 1937.

[16] W. Nicholson y C. Snyder, Microeconomic theory: basic principles and extensions, Cengage Learning, 2011.



**Gabriel Awad** received its Engineering degree in Management Engineering from Universidad Nacional de Colombia, in 1987 and its magister degree in Systems Engineering in 2004. His current research interest includes modeling and simulation of social systems.

## AUTORES



**María Adelaida Torres** received the Engineering degree in Management Engineering from Universidad Nacional de Colombia, in 2011 and received a magister degree in Environment and Development in 2014. Her current research interest includes spatial planning, environmental assessment of projects, project management and environmental conflicts.



**Yuliana Acevedo** received the Engineering degree in Management Engineering from Universidad Nacional de Colombia, in 2011 and received a magister degree of Systems Engineering in 2015. Her current research interest includes experimental economics, modeling and simulation.



**Isabel Cristina Gómez** received the Engineering degree in Management Engineering from Universidad Nacional de Colombia, in 2013 and is a magister student of Systems Engineering. Her current research interest includes modeling and simulation, multi-agent systems and human behavior.



## 29. UN ENFOQUE DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS PARA COMPRENDER LA DISTORSIÓN CAMBIARIA EN VENEZUELA

**JULIETH VERA**

Fundación Centro Nacional de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Libres (CENDITEL)  
Venezuela (Bolivarian Republic of)  
julievera7@gmail.com

**VICENTE RAMÍREZ**

Universidad de Los Andes - Venezuela (Bolivarian Republic of)  
vicente@ula.ve

### RESUMEN

Este trabajo describe el modelo de simulación diseñado para representar el flujo de Bolívares y Dólares que circulan en la economía venezolana, utilizando la metodología de la Dinámica de Sistemas. Se estudió el sistema monetario y el mercado de divisas de Venezuela, por medio de los datos registrados por el Banco Central de Venezuela (BCV) y la Estatal Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA). Se evaluaron tres escenarios, uno consiste en la implementación de una serie de medidas monetarias y cambiarias. En otro de los escenarios, se indagó acerca del efecto que generaría sobre el nivel de reservas internacionales y el tipo de cambio paralelo, mantener la misma política cambiaria actual (tipo de cambio en 12Bs/US\$). Los resultados permitieron comprender el proceso de autoreforzamiento existente entre el sector monetario, cambiario, el comercio exterior, y de cómo el flujo de Bolívares y Dólares ejercen presión sobre el nivel de precios internos.

**PALABRAS CLAVE:** Dinámica de Sistemas, macroeconomía, oferta monetaria, precios, tipo de cambio.

### I. INTRODUCCION

El flujo de dinero, en moneda nacional y extranjera que circula en el sistema económico, ejerce un impacto en las decisiones de los agentes, como por ejemplo: ¿Qué transacciones realizar?, ¿qué bienes producir?, ¿dónde invertir?, entre otros. Particularmente, en la economía venezolana el flujo de divisas que entra al sistema está sujeto al precio del petróleo en el mercado internacional. En otras palabras, el ingreso de divisas por vía de las exportaciones petroleras está determinado por la actividad económica de las grandes economías y por el mercado especulativo que se ha construido alrededor de éste. El hecho de que el 96,1% [1] del valor de las exportaciones sean petroleras, genera cierto nivel de incertidumbre, afectando así la estabilidad del valor de la moneda nacional.

Por su parte, la cantidad de Bolívares que circula en la economía ha crecido de manera significativa en los últimos años, registrando una variación anualizada del

64% [1] al finalizar el año 2014. Esto como consecuencia de la creación de dinero primario generado por el Banco Central de Venezuela (BCV), al imprimir billetes y conceder préstamos a ciertas organizaciones. Un flujo de dinero que no posee ningún tipo de contrapartida y que ejerce un efecto negativo sobre el valor del Bolívar.

Las políticas implementadas en materia de comercio exterior y monetaria han debilitado la moneda nacional, hasta el punto que para el año 2003 se estableció un sistema cambiario fijo, como una forma de detener la caída de las reservas internacionales (entendiendo la importancia que estas tienen, debido a que representan la contrapartida de los Bolívares que circulan en la economía nacional), creándose así un tipo de cambio paralelo, motivado al diferencial existente entre el tipo de cambio implícito y el establecido por el Estado, lo que generó, como consecuencia, una fuerte presión sobre el nivel de precios (alcanzando para noviembre del año 2014 una variación anualizada de 63,4% [1]).

Dentro de este marco, se elaboró un modelo de simulación para estudiar el flujo de Bolívars y Dólares que circulan en la economía venezolana. La metodología utilizada fue la Dinámica de Sistemas, descrita por Forrester [2] y Sterman [3]: Se estudió la economía venezolana, con especial énfasis en el sector monetario y cambiario, para ello fue necesario utilizar los datos registrados por el BCV y la estatal Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) [4]. Luego, utilizando la plataforma VENSIM [5], se diseñó el modelo de simulación, el cual fue validado utilizando datos históricos de los agregados monetarios y del sector externo. Por último, se evaluaron cuatro escenarios.

## II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ECONÓMICO VENEZOLANO

Domingo et al. [6] describieron el sistema socioeconómico de Venezuela, especificando el rol de cuatro agentes económicos: Los hogares, representados por las familias que venden su fuerza laboral a cambio de dinero para adquirir bienes, servicios y ahorrar; el aparato productivo, conformado por las empresas que se encargan de producir, comercializar y distribuir los bienes y servicios requeridos por los hogares; el Gobierno, un agente regulador, que por medio de políticas públicas controla la cantidad de dinero que circula en la economía y distribuye la riqueza de la nación entre los distintos agentes.

Por su parte, los agentes pueden comprar y vender bienes y servicios en el exterior (flujo de material) generando un flujo de entrada y salida de monedas extranjeras (divisas). Los autores modelaron también la entrada y salida de personas del país. Este sistema está limitado por una serie de factores, como el medio físico que determina la cantidad de recursos naturales disponibles para la producción de bienes, además de reflejar el impacto que ejerce el aparato productivo sobre el medio ambiente (flujo control).

Por último, es importante resaltar que los autores describen el mercado como un ente separado, donde confluyen los distintos agentes para intercambiar bienes, servicios, horas hombres, dinero, siendo el lugar donde se determinan los precios.

Bajo este marco, se plantea el flujo de dinero por medio de la interrelación entre siete actores (Fig. 1): Hogares, empresas, instituciones financieras bancarias, sector externo, Gobierno central, el SENIAT (encargado de la

recaudación de los ingresos tributarios), PDVSA y el BCV, estas últimas son instituciones gubernamentales que determinan en cierta medida el flujo de dinero (en moneda nacional y extranjera) que circula en la economía.

Los hogares demandan una serie de bienes y servicios requeridos para satisfacer sus necesidades y que adquieren con dinero generado por la remuneración percibida por su trabajo o sus ahorros. Mientras que las empresas públicas y privadas representan el motor de la economía, debido a que demandan empleo y producen los bienes requeridos por la población.

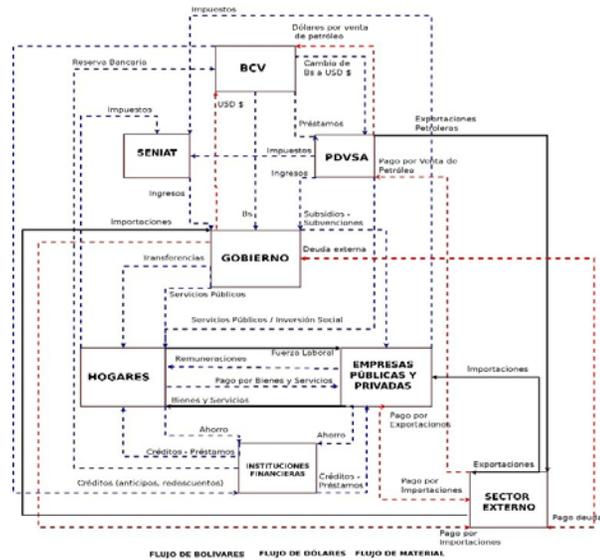


Figura 1. Diagrama del flujo de bolívars y dólares. Fuente: Elaboración propia.

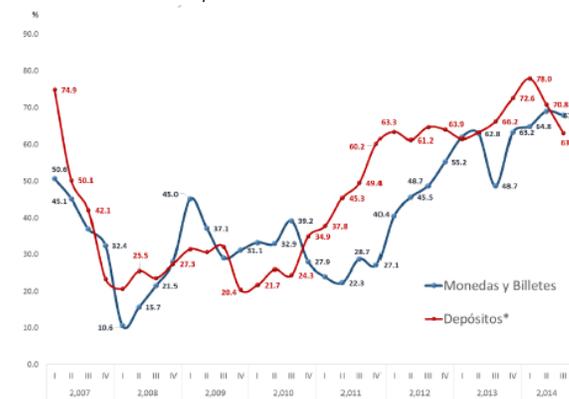
PDVSA es una empresa de capital público, que no sólo se ha dedicado a la exploración, explotación y refinación de petróleo, sino que durante los últimos años tiene también el rol de prestador de servicios públicos y ejecutor directo de políticas públicas sociales, como por ejemplo, obras de vialidad y en el mantenimiento de algunas misiones sociales como Ribas, Sucre, Mercal y Vuelvan Caras. La importancia de este actor radica en que el 96% de las exportaciones provienen del sector petrolero, en promedio para el período 1997-2013[1], siendo entonces la principal fuente de divisas.

Para comprender el flujo de Bolívars y Dólares que circula en la economía venezolana, se debe partir de la definición de dinero propuesta por Mochón [7] la cual indica que: "es un bien que tiene el mismo valor como unidad monetaria que como mercancía" (pág. 261). El

dinero tiene tres funciones: unidad de medida, medio de cambio y depósito de valor.

Ahora bien, respecto al flujo de Bolívars las instituciones financieras bancarias tienen un papel fundamental, al ser intermediarios, es decir, captan los ahorros de todos los agentes y los canalizan a aquellos que los demanden para invertir en bienes de capital fijo, maquinarias e incrementar el consumo actual. Este aspecto es clave en lo que respecta al flujo de dinero que circula en el país, dado que los bancos prestan a los agentes económicos el dinero de los ahorristas, quienes lo devuelven con un interés. Además, este préstamo es depositado nuevamente en el sistema bancario, por lo que sobre una parte de este depósito se puede conceder un nuevo préstamo, a este proceso se le llama creación de dinero secundario.

El flujo de Bolívars influye directamente en el poder adquisitivo de las personas y en consecuencia en la economía en general, de allí que el BCV es el ente rector de la política monetaria y cambiaria, y el único con la potestad de imprimir billetes y de conceder préstamos a organismos que posean cuentas en el mismo, como, por ejemplo, PDVSA y las instituciones financieras bancarias (creación de dinero primario). Además, de tener la capacidad de controlar la creación de dinero secundario, al definir el porcentaje de reserva legal que los bancos deben mantener. En otras palabras, el BCV puede influir de manera directa en la cantidad de Bolívars que se encuentra en manos de los agentes y en los depósitos disponibles por los ahorristas de manera inmediata, conocida como oferta monetaria.



\* Depósitos a la vista y depósitos de ahorro.

Figura 2. Variación anualizada de los agregados monetarios. 1997 - 2013. Fuente: Elaboración propia, basado en los datos registrados por el BCV.

Venezuela ha registrado un crecimiento permanente de la cantidad de Bolívars que circula en la economía, tal

y como se observa en la Fig. 2. Para el primer trimestre del 2014 los depósitos crecieron un 78% respecto al mismo período del año anterior, siendo el valor más alto registrado durante los últimos ocho años. Justificado, por una parte, por el papel activo de PDVSA al cambiar parte de los Dólares que percibe por la venta de petróleo en el exterior, en Bolívars e introducirlos al sistema por medio de transferencias, gasto directo e inversiones (misiones, obras de infraestructura), por la otra, por la demanda de dinero requerida para cubrir el consumo de bienes y servicios realizados por los distintos agentes económicos.

Retomando nuevamente el rol del BCV, es importante señalar que también mantiene resguardadas las reservas internacionales compuestas por: Diamantes, metales preciosos que sean objeto de transacción en el mercado internacional, oro y divisas. Las reservas internacionales representan la contrapartida de dinero en Bolívars que circula en la economía, de allí que se ejecuten políticas en el ámbito cambiario y monetario que permitan mantener la estabilidad de la moneda nacional y, por ende, el nivel de precios, siendo este el objetivo marco del BCV.

El nivel de reservas puede variar positivamente si se presenta un superávit en la balanza de pagos y disminuir si se presenta un déficit en la misma, de allí la necesidad de mantener un nivel de gasto de Dólares coherente con los ingresos obtenidos en Dólares. En otras palabras, el flujo de Dólares en el país está determinado por los ingresos (exportaciones, inversión extranjera, venta de títulos, deuda) y egresos (importaciones, fuga de capitales, pago de la deuda) de moneda extranjera. En la Fig. 3 se puede observar como durante el período 2009-2013 se ha registrado un déficit en el mercado de divisas.

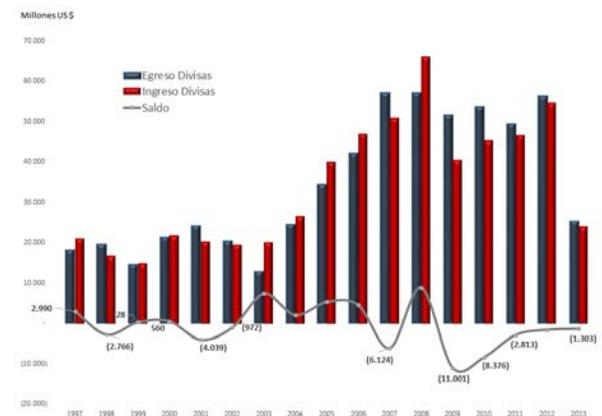


Figura 3. Ingresos y Egresos de divisas, período 1997 - 2013. Fuente: Elaboración propia, basado en los datos registrados por el BCV.

Como se comentó anteriormente, el BCV tiene un papel fundamental en la formulación de políticas cambiarias que permitan proteger las reservas internacionales y, por ende, el valor del Bolívar. A este respecto, al referirse al mercado cambiario, Chacholiades [8] expone las principales funciones del mismo:

1. "Transfiere poder de compra de una moneda a otra y de un país a otro.
2. Suministra crédito para el comercio exterior.
3. Brinda facilidades para los riesgos de cobertura de cambio extranjero" (pág. 286).

En Venezuela, desde el año 2003 se mantiene un sistema cambiario fijo, es decir, el precio del Dólar estadounidense (moneda de referencia) se encuentra controlado. Hasta el mes de febrero de 2015, se contaba con tres tipos de cambios 6,3 Bs/US\$, SICAD I que oscila alrededor de los 12 Bs/US\$ y el SICAD II que se ubica aproximadamente en 49,9Bs/US\$, creándose como consecuencia un tipo de cambio paralelo.

El valor de la moneda de acuerdo a varios autores puede determinarse mediante el cociente entre la liquidez monetaria y las reservas internacionales, conocido como tipo de cambio implícito. Esto significa que, dada cierta cantidad de reservas internacionales (Dólares), el tipo de cambio implícito representa la tasa por la cual se podrá cambiar todo el dinero que existe en la economía (Bolívares) por dólares. En la Fig. 4 se muestra el comportamiento creciente del tipo de cambio implícito; para el año 2014 el tipo de cambio registró una variación de 57,1% respecto al año anterior, ubicándose en 90,9 Bs/US\$, justificado en parte por el crecimiento desmedido de la oferta monetaria y la caída de las reservas internacionales.

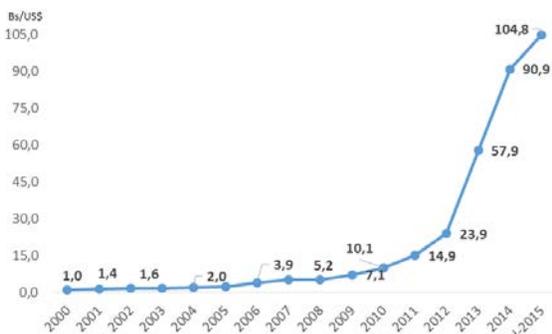


Figura 4. Tipo de cambio implícito, período 1997 - 2013.  
Fuente: Elaboración propia, basado en los datos registrados por el BCV.

### III. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO

Entendiendo los desequilibrios que presenta la economía venezolana (generados por la poca coherencia en el manejo de la política cambiaria y monetaria), se diseñó un modelo de simulación compuesto por dos estructuras: Mercado en Bolívares y Mercado en Dólares.

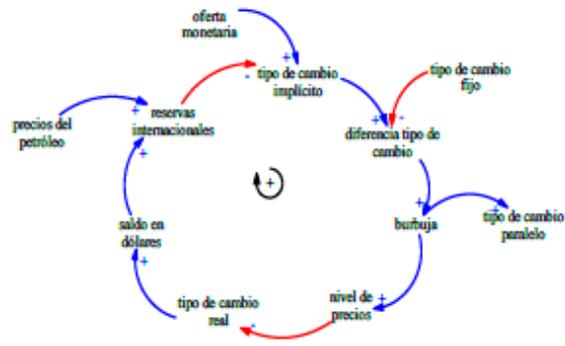


Figura 5. Diagrama causal.

En la Fig. 5 se presenta el diagrama causal del modelo, donde se describe la estructura que genera la dinámica existente entre el flujo de Bolívares, Dólares y la vinculación con el tipo de cambio paralelo y el nivel de precios internos.

El primer elemento clave del modelo es la oferta monetaria, compuesta por el dinero en efectivo que se encuentra en manos de los agentes económicos y los depósitos que están resguardados en el sistema financiero bancario. Esta se puede incrementar por dos vías, la primera representa los préstamos que realiza el BCV a instituciones como PDVSA, instituciones financieras bancarias, entre otras.

La segunda forma de incrementar la oferta monetaria es a través de la creación de dinero secundario. Este proceso inicia con el dinero que los agentes mantienen como depósitos, debido a que los bancos conceden créditos sobre una fracción de estos. En otras palabras, si un banco recibe Bs. 1.000, y el BCV como ente rector de la política monetaria establece un 10% de reserva legal, el banco podrá prestar Bs. 900 y si es depositado en un Banco se puede prestar Bs. 810 (los Bs. 90 restantes deben mantenerse como reserva). Este proceso puede repetirse "n" veces.

Por su parte, el nivel de reservas internacionales está determinado por el saldo que registre la balanza de pagos. En el modelo se representa el saldo de divisas





## IV. SIMULACIÓN BASE Y PRUEBAS

### IV.I. Simulación Base

Se realizó la simulación base con el objetivo de evaluar la capacidad de replicar el comportamiento registrado durante el período I 2009 – IV 2014, utilizando para ello el método de integración de Runge-Kutta de cuarto orden. Los valores de los parámetros del modelo se muestran en la Tabla I. El modelo fue calibrado para que la simulación base replicase el comportamiento registrado durante el período en estudio.

TABLA I. PARÁMETROS DEL MODELO.

Nombre	Valor	Unidad de Medida
COEFICIENTE DE DEPÓSITOS	0,10	1/Trimestre
COEFICIENTE DE EFECTIVO	0,09	1/Trimestre
PROPORCIÓN DEL ORO	50%	1/Trimestre
NTRESERVA	1	Trimestre
SENSIBILIDAD TC	0,90	Sin Unidad
LAMBDA	0,018	Sin Unidad
ALFA	0,05	Sin Unidad
BETA	0,01	Sin Unidad
GAMMA	1,72	Sin Unidad
OMEGA	0,17	Sin Unidad
PRECIO REFERENCIA CVEN	100	Barriles/US\$
CONSTANTE XP	0,22	1/Trimestre

La PROPORCIÓN DEL ORO y NTRESERVA son constantes que determinan la cantidad de reservas internacionales. La primera de ellas representa el porcentaje de reservas que el país mantiene en oro (para el caso venezolano éstas representan el 50%). NTRESERVA es el número de trimestres utilizado para estimar el nivel óptimo de reservas líquidas, es decir, las divisas que deben estar disponibles de manera inmediata para cubrir NTRESERVA de importaciones.

Por su parte, los parámetros LAMBDA, ALFA, BETA, GAMMA y OMEGA son elasticidades que se ajustaron por medio de simulaciones.

A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos por la simulación base:

- Depósitos: Al comparar los resultados obtenidos con los datos registrados se observa (Fig. 8) como, hasta el

tercer trimestre del año 2013 los resultados se ajustan, registrando una diferencia de 5,9%. Mientras para el año 2014, el modelo subestima el monto en Bolívares que se mantienen en las cuentas corrientes y de ahorro del sistema bancario, lo cual está justificado por la poca información que se tiene acerca del flujo de Bolívares que ingresa al sistema por concepto de los préstamos que realiza el BCV a diversas instituciones públicas.

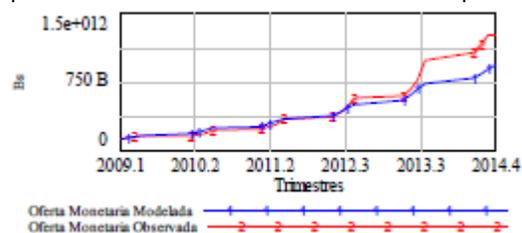


Figura 8. Simulación Base, Oferta Monetaria.

- Índice de Precios al Consumidor: La simulación base registra el mismo patrón observado en el período 2009-2014 tal y como se observa en la Fig. 9. La diferencia entre el valor simulado y el observado se ubica en 12,9% en promedio, para el período 2012-2014.

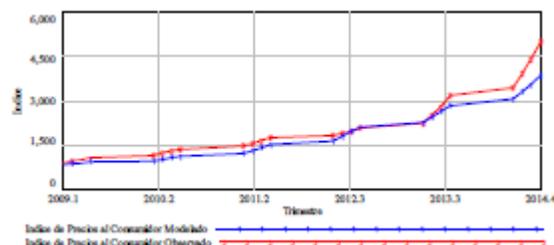


Figura 9. Simulación Base, Índice de Precios al Consumidor.

### IV.II. Pruebas

Al modelo se le realizaron algunas pruebas para validarlo, entre la que destaca el test de condiciones extremas [3]. El objetivo es verificar que el modelo se comporte lógicamente ante escenarios poco probables, como por ejemplo, conocer ¿qué efectos podría generarse sobre el sistema económico, si el precio de la cesta de petróleo venezolana registrara un valor de cero (0) US\$/Barril?, ¿el modelo genera resultados coherentes con el escenario planteado? Los resultados obtenidos, dan cuenta de un saldo negativo en la cuenta corriente (exportaciones menos importaciones), debido a que las exportaciones petroleras son nulas. Registrando un impacto negativo sobre el nivel de reservas internacionales.

Por el lado de los instrumentos de política monetaria, se evaluó el escenario en el que el BCV no crea dinero primario, es decir que el BCV no concedió ningún

préstamo ni imprimió billetes, esto desaceleraría la cantidad de dinero que se crea en el sistema económico, traduciéndose en una caída de los depósitos y, en consecuencia, de la oferta monetaria, hecho que podría generar una apreciación del tipo de cambio implícito y, por lo tanto, una disminución de la presión sobre la burbuja especulativa del tipo de cambio.

**Análisis de Sensibilidad:** Se evaluó el comportamiento de los niveles al realizar 200 simulaciones con el método de Montecarlo, ante cambios en los valores de las constantes

COEFICIENTE DE DEPÓSITOS, SENSIBILIDAD TC, NTRESERVAS y PROPORCIÓN ORO (Tabla II), a las cuales se les asignó una distribución normal, cuya media es el valor del parámetro y la desviación estándar de 9%.

TABLA II. PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

Constante	Valor del Parámetro	Mínimo del Parámetro	Valor Máximo del Parámetro
COEFICIENTE DE DEPÓSITO	DE 0.3		0.7
SENSIBILIDAD TC	0.5		0.99
NTRESERVAS	0.5		2.0
PROPORCIÓN ORO	30%		70%

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Fig. 10 como al variar positivamente el coeficiente de depósitos, la oferta monetaria se incrementaría debido a que los niveles Depósitos y Efectivo en Mano son afectados por dicho coeficiente. Por lo que, para un nivel de incertidumbre del 50%, el valor más pequeño de la oferta monetaria se ubicaría aproximadamente en 1,02 billones de Bolívars y el valor más grande en 1,5 billones de Bolívars.

Por su parte, las constantes NTRESERVAS y la PROPORCIÓN ORO, generan un impacto significativo sobre las reservas internacionales, lo que se traduce que para un nivel de incertidumbre del 95%, el valor más pequeño de estas se ubicaría en aproximadamente 28 billones de Dólares y el valor más grande en 33 billones de Dólares (para el último trimestre en estudio).

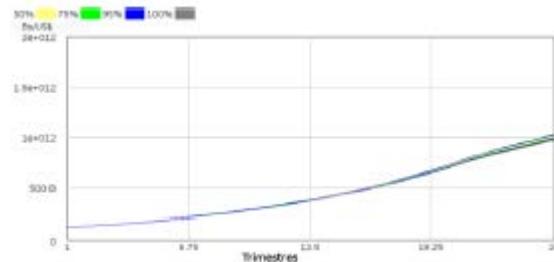


Figura 10. Análisis de sensibilidad: Oferta monetaria

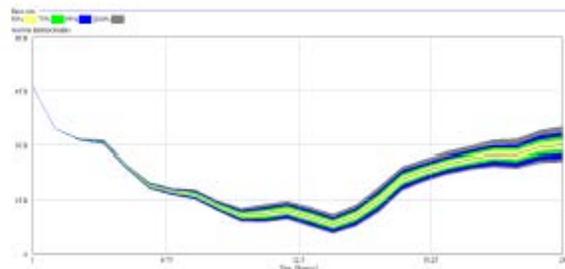


Figura 11. Análisis de sensibilidad: Reservas internacionales.

## V. RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos al evaluarse los efectos de una política monetaria (encaje legal), cambiaria (al establecerse una serie de devaluaciones) y una variación de los precios del petróleo, con la finalidad de analizar el impacto generado sobre el nivel de precios internos y el tipo de cambio paralelo. Los valores iniciales utilizados para evaluar los escenarios son los generados por la simulación base del último trimestre del año 2014. El período a evaluar abarca desde el primer trimestre del año 2015 hasta el cuarto trimestre del año 2016.

### V.I. Escenario 1

¿Cuál es el efecto que ejerce sobre el nivel de precios y el tipo de cambio paralelo, una serie de devaluaciones trimestrales del 20%? Dado que el ingreso de Dólares al país depende de los precios del petróleo en el mercado internacional, se evalúa en este escenario que el precio del petróleo y del oro se mantengan en los mismos niveles registrados durante el año 2014, mientras que los instrumentos de política monetaria se mantienen constantes.

Los resultados dan cuenta que a pesar de realizar devaluaciones consecutivas, si se mantiene el mismo flujo de creación primaria y secundaria de dinero, las reservas podrían continuar disminuyendo, debido a que el valor fijado por el Gobierno Central se mantiene por debajo del valor real de la moneda (tipo de cambio

implícito), ejerciendo una presión positiva sobre el índice de precios. La simulación refleja un crecimiento anualizado de los precios para el último trimestre del año 2016 del 42,6%, tal y como se observa en la Fig. 11.

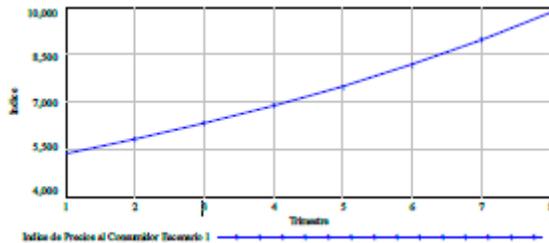


Figura 11. Índice de Precios al Consumidor

La oferta monetaria podría registrar un incremento para el cuarto trimestre de 2015 del 23,37% y de 32,72% para el mismo trimestre del año 2016, lo que se traduce en un 63,7% de crecimiento de la oferta monetaria desde finales del 2014 hasta el último período del año 2016. Respecto al tipo de cambio paralelo, para finales del año 2015, se ubicaría en 169,9 Bs/US\$ y 266,5 Bs/US\$, tal y como se observa en la Fig. 12.

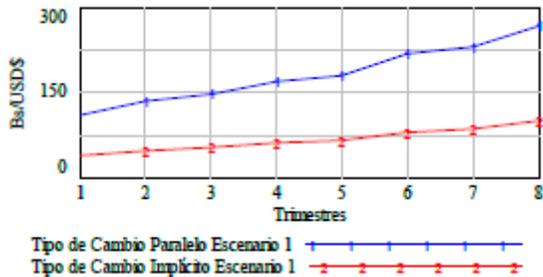


Figura 12. Tipo de cambio paralelo Vs Tipo de cambio implícito.

### V.II. Escenario 2

Con este escenario se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto que generaría sobre el nivel de reservas internacionales y el tipo de cambio paralelo, si los precios del petróleo comienzan a recuperarse a una tasa del 2% trimestral y el tipo de cambio fijo se establece 12 Bs/US\$ (a partir del segundo trimestre de 2015, última cotización del SICAD I)? Manteniendo constantes el resto de las variables exógenas del modelo.

Bajo estas premisas, el tipo de cambio paralelo crecería de forma más acelerada que el comportamiento registrado en el escenario 1, esto motivado a que al mantener por dos años el mismo tipo de cambio, la diferencia entre éste y el tipo de cambio implícito que

mantiene un crecimiento constante se haría cada vez más grande, ejerciendo presión sobre la burbuja y el nivel de precios.

El tipo de cambio paralelo se ubicaría, para finales del año 2016, en 606 Bs/US\$ (Fig. 13), mientras que la inflación anualizada para el primer trimestre del año 2015 se ubicaría en 57,27% (Fig. 14).

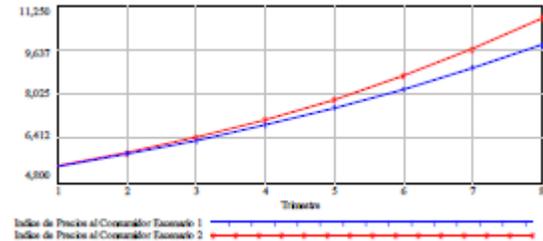


Figura 13. Índice de Precios al Consumidor

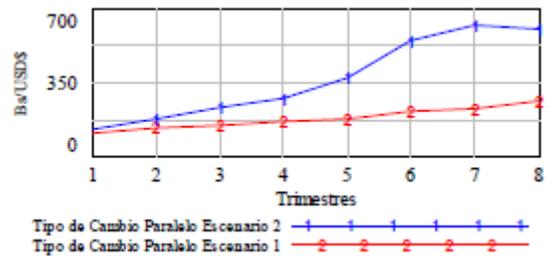


Figura 14. Índice de Precios al Consumidor

Bajo estas condiciones, las reservas internacionales podrían registrar una caída del 36,14% para finales del año 2016, respecto al valor registrado en el último trimestre del año 2014, como se refleja en la Fig. 15, las reservas internacionales disminuirían en una mayor proporción que las registradas en el escenario 1, al mantenerse un déficit en la balanza de pagos, debido a que los precios del petróleo siguen siendo muy bajos para mantener el nivel de importaciones requeridas por el país.

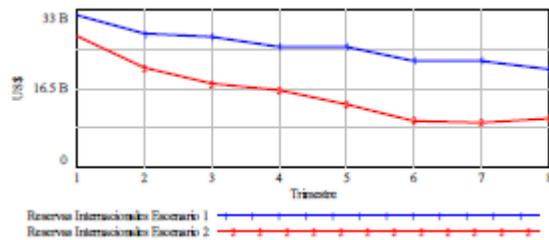


Figura 15. Reservas Internacionales

### V.III. Escenario 3

En este escenario se plantea evaluar el efecto que tiene sobre el tipo de cambio y el índice de precios al consumidor una serie de medidas en el área cambiaria y monetaria como:

- Medidas monetarias contractivas, es decir, se incrementa el coeficiente de encaje Legal, pasando para el 2015 de 21,5% a 28,5% y para el 2016 a 32%.
- Ajustar el Tipo de cambio fijo en el segundo y cuarto trimestre de 2015 y 2016, a una tasa de 45%.
- Bajo el supuesto que los precios del petróleo y del oro aumentan solamente un 1% cada trimestre.

Los resultados obtenidos dan cuenta de cómo la oferta monetaria podría desacelerarse al crecer sólo un 1,3% (variación anualizada) en el cuarto trimestre del año 2015, respecto al 23,7% registrado en el escenario 1.

Por su parte, la devaluación constante durante el período en estudio permitiría disminuir el diferencial entre el tipo de cambio paralelo y el tipo de cambio implícito, afectando directamente el índice de precios al consumidor, al obtenerse un crecimiento anualizado de los precios de 37,4% y 37,0% para el cuarto trimestre del año 2015 y 2016 respectivamente.

En la Fig. 16. Se muestra como con una restricción de la oferta monetaria y una serie de devaluaciones con el objetivo de disminuir la diferencia entre el tipo de cambio implícito y el establecido por el Estado, el incremento de los precios podría ser menor, al compararlo con el Escenario 2 en el cual se mantienen las mismas condiciones existentes (tipo de cambio 12Bs/US\$).

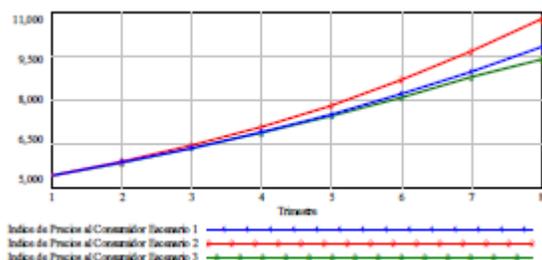


Figura 16. Índice de Precios al Consumidor

El tipo de cambio paralelo se ubicaría para el último trimestre del año 2016 en 118 Bs/US\$. En otras palabras, una política monetaria y cambiaria articulada podría desacelerar en cierta medida el proceso inflacionario generado por la incertidumbre y los desequilibrios del mercado cambiario.

Al comparar los resultados obtenidos en los tres escenarios evaluados, notamos (Fig. 17), como el tipo de cambio paralelo podría alcanzar valores cercanos a los 700Bs/US\$ si se mantienen las condiciones actuales, evaluadas en el escenario

2. Mientras que si se establece una política monetaria y cambiaria coherente dirigida a estabilizar el valor de la moneda nacional, el tipo de cambio paralelo podría estabilizarse y en una última instancia disminuir.

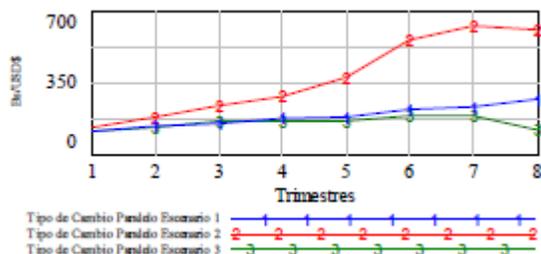


Figura 17. Tipo de Cambio Paralelo

## VI. CONCLUSIONES

El modelo expuesto deja en evidencia el proceso de autoreforzamiento que se presenta entre el mercado de Bolívares y Dólares en Venezuela. Debido a que un incremento de la oferta monetaria tendría un efecto positivo sobre el tipo de cambio implícito, por su parte mantener un tipo de cambio rígido distorsiona las decisiones que toman los agentes económicos al importar y exportar bienes y servicios, derivando en una disminución de las reservas internacionales por vía del déficit de la balanza de pagos (Fig. 15).

Los resultados obtenidos dan cuenta de la influencia que tiene un tipo de cambio fijo en las distorsiones que se crean, y cómo esto afecta al nivel de precios, y a las decisiones que toman los agentes en materia de comercio exterior. Por otro lado, vemos también como la cantidad de Bolívares que circula en la economía tiene un impacto directo sobre la burbuja especulativa, al reforzarla por vía del tipo de cambio implícito.

El diferencial entre el tipo de cambio implícito y el establecido por el Gobierno crecería y, en consecuencia, el tipo de cambio paralelo y el nivel de precios. De esto se deduce la necesidad de desacelerar la cantidad de Bolívares que entran a la economía, así como realizar una serie de devaluaciones (en caso de mantener un sistema cambiario fijo) de manera de disminuir la presión sobre la burbuja especulativa, como

un primer paso para incentivar las exportaciones no petroleras y así dejar de lado la dependencia de las exportaciones petroleras, generando otra fuente de divisas para mantener un nivel de reservas internacionales que permitiría mantener la estabilidad del valor del Bolívar.

### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico Tecnológico y de las Artes (CDCHTA) de la ULA, por haber financiado parcialmente este trabajo bajo el proyecto I-1354-12-02-EM.

### REFERENCIAS

- [1] Banco Central de Venezuela. [www.bcv.org.ve](http://www.bcv.org.ve)
- [2] Forrester, J. (1972): Dinámica Industrial (M. Pereiro, Trad.). Buenos Aires: Editorial El Ateneo.
- [3] Sterman, J. (2000): Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. Boston: McGraw-Hill.
- [4] Petróleos de Venezuela S. A. [www.pdvsa.com](http://www.pdvsa.com)
- [5] Ventana System, INC. (2010): VENSIM6.0.01. [Programa de computación].
- [6] Domingo, C., M. Fargier, J. Mora, V. Ramírez, A. Rojas y G. Tonella (1997) Modelo Económico y Social de Venezuela. Mérida: Universidad de los Andes.
- [7] Mochon, F. (1995): Principios de Economía. Madrid: McGraw-HILL/ Interamericana de España, S.A.
- [8] Chacholiades, M. (1992): Economía Internacional. (2da. Ed.)México: McGraw-Hill.
- [9] Gaméz, C. y J. Torres. (1997): Teoría Monetaria Internacional. Madrid: McGRAW-HILL.

### AUTORES



**Julie Vera** es Economista de la Universidad de Los Andes. Msc. en Modelado y Simulación de Sistemas de la Universidad de los Andes. Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Tecnologías Libres.



**Vicente Ramírez** es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida Venezuela; MSc. in Economics de la London School of Economics, Londres-Inglaterra; PhD. in Economics de la Università della Svizzera italiana, Lugano-Suiza.

Profesor Titular del Departamento de Investigación de Operaciones de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la ULA y miembro asociado del Centro de Simulación y Modelos (CESIMO) de la ULA.



### 31. SOSTENIBILIDAD REGIONAL: UN MODELO CONCEPTUAL PARA RELACIONAR DISEÑO, CULTURA Y TERRITORIO EN EL ABORDAJE DE PROYECTOS CON IDENTIDAD LOCAL

**MÓNICA ALEXANDRA SÁNCHEZ GÓMEZ, EDITH GONZÁLEZ AFANADOR**

Universidad Nacional de Colombia  
monalesa7@gmail.com, egonzalezaf@unal.edu.co

#### ABSTRACT

Teniendo como marco conceptual la Teoría de Sistemas e incorporando metodologías de diseño, se utilizó el software Stella Research, para construir un modelo dinámico cuyo objetivo es la identificación del papel del diseño, en procesos productivos de un territorio y su orientación hacia la sostenibilidad.

El modelo, compuesto por siete subsistemas: población, cultura, economía, territorio, tecnología, diseño, y sostenibilidad, relaciona el diseño con su entorno ambiental, socio-cultural, económico y tecnológico en el territorio.

Como herramienta conceptual y técnica, permitió por una parte identificar y jerarquizar actores, variables y relaciones en el proceso productivo; también permitió identificar la importancia y los puntos cruciales en los que el diseño puede actuar al interior del sistema, para enfocar el proceso productivo hacia la sostenibilidad en el territorio

**KEYWORDS:** Diseño, sostenibilidad, desarrollo local, enfoque de sistemas

#### I. INTRODUCCION

Actualmente, fenómenos como la globalización, desarrollan el capital mediante la universalidad de la producción material, acelerando el proceso de comercialización en todo el mundo, a través de la distribución en masa de productos. Estos, se encuentran disponibles para gran parte de la población [1] en un corto periodo de tiempo, pero pueden no llegar a satisfacer las necesidades de los usuarios y se caracterizan por hacer un uso expoliativo de los recursos naturales, que llevan a la insostenibilidad social y ambiental.

La disponibilidad a "bajo costo" marcada por una reducción del papel económico del estado y la industria nacional [2], como consecuencia, ha derivado en la pérdida de identidad local y ha creado dependencia del mercado global. Este último, se caracteriza por dedicar tiempo y energía, que se podrían utilizar satisfactoriamente en la producción local propiciando su

desarrollo, exclusivamente al transporte de productos entre países. Boisier[1], dice que el desarrollo, siempre ha estado ligado a la producción local, que además incluye y representa las características únicas de una población productora. Para lograr esto se puede sacar provecho de la cultura, que es la que interpreta el mundo material e inmaterial [3] y está enlazada al espacio en el que se encuentra, el cual, comúnmente llamado territorio, es apropiado, valorizado y cuenta con unas condiciones específicas [3]. De esta forma tenemos que un producto que impulse el desarrollo, para que sea sostenible en su producción, tiene que involucrar las variables locales como el territorio y la cultura, para su construcción material.

El Diseño, como forma de pensamiento y abordaje de problemas, cuenta con herramientas que se utilizan para el análisis del entorno en el que el sistema producto-servicio se verá envuelto, pero como norma general estos acercamientos son de carácter cualitativo [4], dependiendo de la buena observación que tenga el

diseñador a cargo. Lo anterior puede llevar a resultados muy subjetivos ya que la percepción del entorno de cada individuo no es homogénea y está condicionada por las experiencias previas del diseñador [5].

Por tanto este trabajo se propuso desarrollar una herramienta de diseño que permitiera por una parte analizar holísticamente, el sistema Producto-Servicio incluyendo el entorno en el que éste se encuentra y por otra a calificar los posibles escenarios futuros en cuanto a sostenibilidad, pertinencia, mercado y cambios sócio-culturales y ambientales, que puedan ocasionar en el sistema, las alternativas propuestas.

La teoría de Sistemas y la modelación dinámica facilitan el análisis de problemas complejos [6], por tanto este trabajo se propuso construir dentro del enfoque de Sistemas, y empleando metodologías de Diseño [7], un modelo conceptual y técnico que permitiera analizar el comportamiento de todo el sistema producto servicio en un territorio, para lo cual utilizó el software Stella Research [8].

## II. JUSTIFICACIÓN

La globalización como parte del actual desarrollo del capitalismo, se ha caracterizado por imprimir un ciclo de vida más corto a los productos y un costo de desarrollo e investigación del siguiente producto cada vez mayor [1]. Por otra parte, la globalización también se ha caracterizado por una reducción del papel del estado nacional y la reubicación geográfica de las industrias. Por lo cual, para obtener un mayor margen de ganancias, es necesario desmontar fronteras y aranceles, y los productos deben mantenerse competitivos y modernos frente al mercado global [1]. Así actualmente se lanzan productos al mercado global, que se encuentran disponibles para el público general. Esto se hace asumiendo que el acceso, la disponibilidad y pertinencia son iguales desde cualquier lugar y no se contempla que tanto las cuestiones de acceso, recursos y necesidades no son las iguales y dependen de las situaciones locales transversales al ambiente, como la situación social, política y económica, que varía a través del planeta. Corresponde a la disciplina del diseño industrial al momento de analizar y satisfacer las necesidades sociales de una población [9]; dar respuesta a través de la creación de productos o familias de productos y servicios, que interactúen en el territorio y tengan en cuenta las características locales.

Las condiciones ambientales, sociales, políticas y económicas son transversales a la cultura y el territorio en el que se encuentran y modifican. Entendiendo el territorio como "todo espacio socializado y apropiado por sus habitantes, cualquiera sea su extensión" [10] que atraviesa las sensaciones de arraigo, apego y pertenencia.

El territorio moldea la cultura expresada como territorialidad [11] y la producción material dependiendo de los recursos y su nivel de aprovechamiento [12]. Este marcaría los procesos sociales, modificando a su vez el uso que se le da a los objetos externos y a las propias manifestaciones objetuales que adquieren un particular significado, dentro de la cultura que los contiene.

La cultura se construye sobre la base de la tradición que alimenta la creación, el arte y que se manifiestan a través de expresiones ya sean físicas o verbales, que luego pasan a formar parte del patrimonio y la identidad material e inmaterial [13]. Esto da origen a unos comportamientos propios que modifican el uso y la lectura de los objetos en los cuales, la estética marca un papel identitario, que la comunidad reconoce como propio, deseable o grato, según sus propios estándares.

Así pues lo que es deseable en India no concuerda con lo deseable en Japón, ni en Colombia, hecho que se puede extrapolar inclusive dentro de territorio nacional comparando las zonas del país y su aspiración material [14]. De este modo "la recreación o potenciación identitaria, no sólo puede revivir, volver a poblar áreas rurales, despertar interés en una población apática, lograr cohesión social, sino que además puede desencadenar actividades económicas y con ello mejorar los ingresos y la calidad de vida de la colectividad" [15]. Esta se aprovecharía en establecer el desarrollo local de un territorio generando autonomía financiera, lo que permitiría ejercer una mayor soberanía al cumplir con las necesidades de la comunidad [16] que se está interviniendo, contribuyendo a potenciar el capital humano y económico [17], abriendo posibilidades de una actuación en nuevos mercados emergentes que requieran de una visión innovadora, se puede partir de posibilidades más flexibles dentro de medios no masificados, que respondan a necesidades que dadas sus características cuentan con diferentes niveles de propuestas de valor y consumo [18].

Desde la perspectiva del diseño es muy importante tener en cuenta todos estos factores a la hora de proyectar nuevos productos, para lo cual existen

diferentes métodos de diseño enfatizados desde la cultura y el territorio que las analizan por separado [7], dando mayor importancia a una u otra; pero para fines prácticos es importante hacer énfasis en las 2 variables al mismo tiempo y obtener una construcción más adecuada, que rescate y aproveche los recursos físicos y sociales los cuales se encuentran íntimamente relacionados en pos de la producción material sostenible, y un desarrollo local; por lo cual es necesario hacer uso de una matriz tridimensional que aborde al mismo tiempo y pondere las características territoriales, culturales y de diseño, en el desarrollo de un producto con características locales [18].

### III. DESARROLLO DEL MODELO

La elaboración del modelo se realizó basándose en las ocho habilidades fundamentales del pensamiento sistémico (The thinking in systems Thinking: eight critical skills) que planteó Barry Richmond [8] siendo: 10,000 meter thinking, system as cause thinking, dynamic thinking, operatoinal thinking, closed loop thinking, scientific thinking, empathize, generic thinking.

Al igual que en las 4 etapas teóricas para el análisis de sistemas de Grant [6], desarrollo del modelo conceptual, desarrollo del modelo cuantitativo, evaluación, uso del modelo y finalmente una iteración de las etapas anteriores. Dando como resultado los siguientes subsistemas:

**POBLACIÓN:** Esta variable es parte fundamental del modelo, ya que a ella van dirigidas las soluciones del diseño y el número de pobladores influye directamente en el consumo de los recursos y por tanto en la sostenibilidad del territorio. Así un número mayor de población al que puede sustentar el territorio conduce inequívocamente a una devastación ambiental y por tanto a la muerte de los individuos existentes [19]. Las variables que conforman este subsistema, aparecen en la Figura 1.

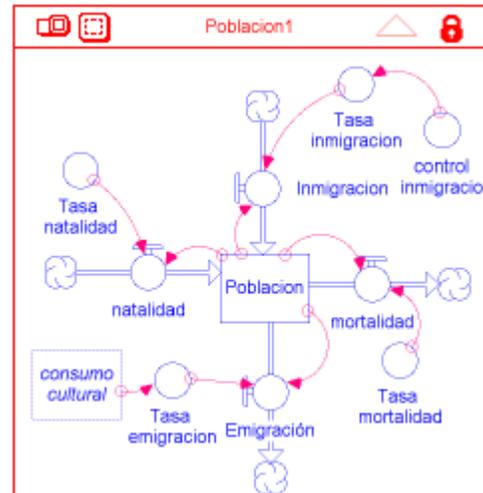


Figura 1. Variables y conexiones que caracterizan el subsistema de población.

Si bien el diseño no tiene una incidencia directa con la población, si ejerce una influencia en los escenarios que propicia en el entorno de la población. Para ello hay que tener en cuenta las condiciones ambientales, sociales, políticas y económicas que se disponen transversales a la cultura y el territorio en el que se encuentran y se modifican.

**CULTURA:** Este subsistema representa el conjunto de valores que se construyen sobre la base de la tradición que alimenta la creación, el arte y que se manifiestan a través de expresiones ya sean físicas o verbales que luego pasan a formar parte del patrimonio y la identidad material e inmaterial [13]. Esto da lugar a unos comportamientos propios que modifican el uso y la lectura de los objetos entre los cuales, la estética marca un papel identitario, donde la comunidad reconoce algo como propio, deseable o grato según sus propios estándares [14].

De este modo “la recreación o potenciación identitaria, no solo puede revivir, volver a poblar áreas rurales, despertar interés en una población apática, lograr cohesión social, sino que además puede desencadenar actividades económicas y con ello mejorar los ingresos y la calidad de vida de la colectividad” [15]. Las variables que conforman este subsistema aparecen en la Figura 2.

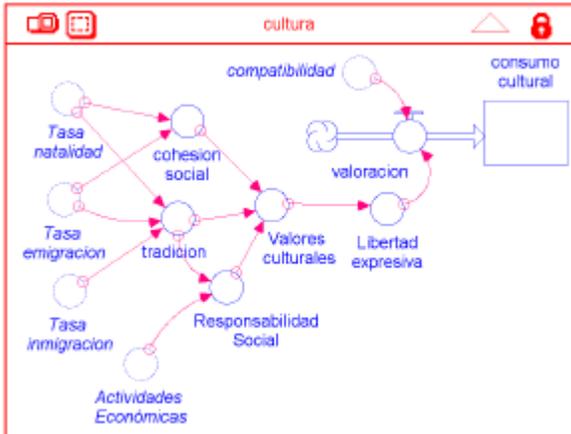


Figura 2. Variables importantes en el subsistema de cultura.

Si bien la medición de la cultura es compleja dadas las características cualitativas de la misma, si se puede cuantificar con una serie de indicadores [20], relacionados con las variables culturales establecidas por Igelhart en [21].

**ECONOMÍA:** El subsistema de economía se usó el esquema básico de ingresos versus gastos, ambos relacionados con el uso del capital humano y de recursos. Para caracterizar el sistema de consumo se utilizó la teoría de Maslow [22] de necesidades humanas en forma jerarquizada:

- Necesidades: Fisiológicas, Seguridad.
- Deseos: Pertenencia, amor y estima
- Aspiraciones: Autorrealización.

Las variables que componen el subsistema de Economía, aparecen en la Figura 3.

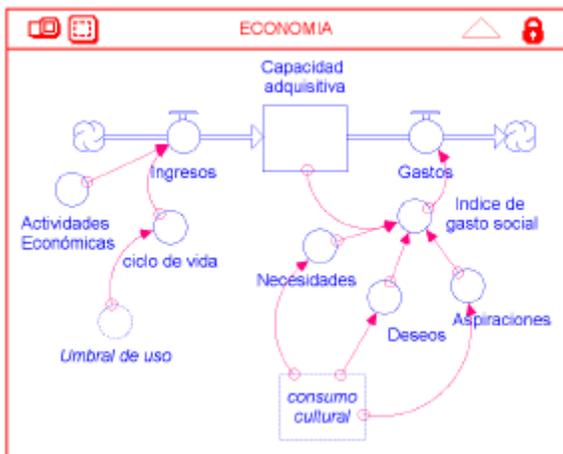


Figura 3. Variables que conforman el subsistema de Economía

**TERRITORIO:** Aquí se entiende por territorio como “todo espacio socializado y apropiado por sus habitantes, cualquiera sea su extensión” [10] atravesando la sensación de arraigo, apego y pertenencia que moldea la cultura expresada como territorialidad [11] y la producción material, dependiendo de los recursos y su nivel de aprovechamiento [3]. Las variables que conforman este subsistema aparecen en la Figura 4.

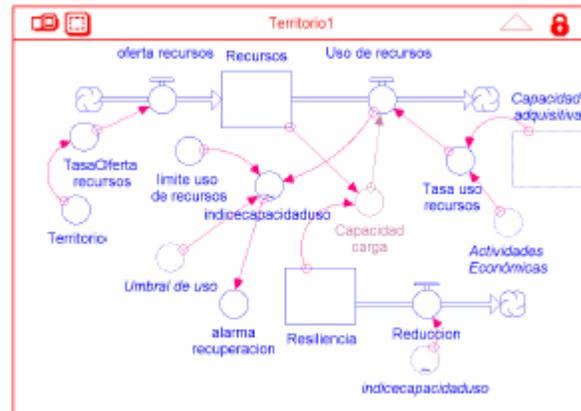


Figura 4. Variables y conexiones que caracterizan el subsistema del territorio.

**TECNOLOGÍA:** En el modelo se entiende Tecnología como un sistema de acciones intencionalmente orientadas a la transformación de objetos concretos para conseguir eficientemente resultados valiosos [23], teniendo en cuenta que “La tecnología se reinventa a cada salto y para su implementación requiere forzosamente de pasar por un proceso de maduración y de socialización que reafirma su utilidad, funcionamiento y consumidores, usuarios tecnológicos” [24].

Su importancia reside en que sin la garantía de una base tecnológica, no se puede garantizar que los cambios o formas de desarrollo se mantengan.

La tecnología se desarrolla por medio de la innovación, ya que esta es la que permite crear nuevos modos de resolver un problema. La sucesión de innovaciones se denomina desarrollo tecnológico cuando puede sostenerse en el tiempo y permite nuevas innovaciones, teniéndolo como un proceso acumulativo en el que la innovación anterior permite una innovación futura, tomando los conceptos e interpretaciones de sus relaciones [25].

Las variables que conforman el sistema de Tecnología aparecen en la Figura 5.

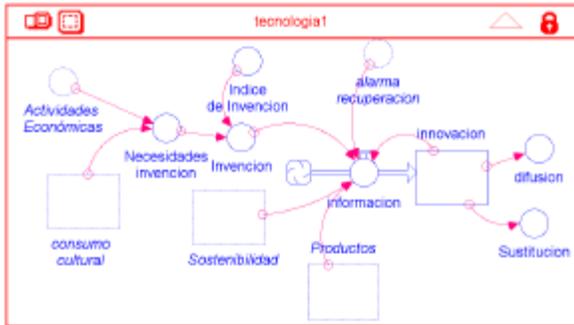


Figura 5. Variables y conexiones que caracterizan el subsistema Tecnología

**SOSTENIBILIDAD:** Esta variable se ha definido como “el mantenimiento de la capacidad de carga del ecosistema en el transcurso de la relación entre una sociedad y el ecosistema, en un territorio dado” [26]. Es la capacidad que posee un territorio para mantener una población [27]. Crawford Holling [28], por otra parte definió el concepto de Resiliencia como una forma para comprender las dinámicas no lineales así como los procesos a través de los cuales los ecosistemas se auto-mantienen y persisten frente a perturbaciones y los cambios.

Según Holling [28], la Resiliencia hace énfasis en las condiciones de un sistema complejo que está alejado del equilibrio donde las inestabilidades pueden transformar al sistema para que presente otro comportamiento, así la Resiliencia es medida por la magnitud de perturbaciones que pueden ser absorbidas por el sistema antes de que sea reorganizado con diferentes variables y procesos. La sustentabilidad, por ende, es la capacidad de un sistema complejo de mantenerse en el tiempo a pesar de la volatilidad ambiental fomentada por el aprendizaje, la transformación, la renovación y la evolución continua [29]. Las variables que conforman el subsistema de Sostenibilidad aparecen en la Figura 6.

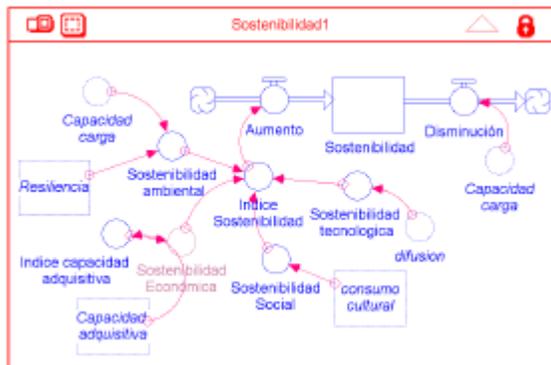
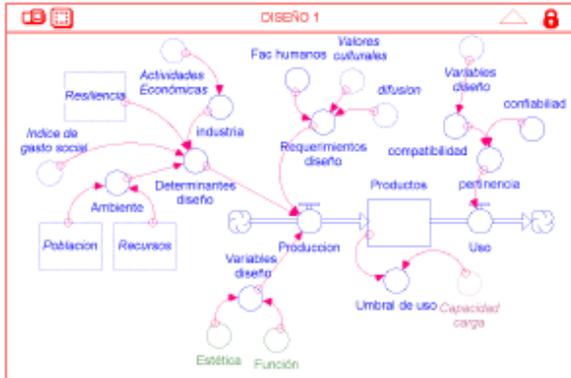


Figura 6. Variables y conexiones que caracterizan el subsistema de Sostenibilidad.

**DISEÑO:** La definición de diseño puede dividirse en dos, como proceso de transformación (planificación) y como materialización, en el cual se deben tener en cuenta aspectos importantes de la configuración formal, que tienen en cuenta atributos estéticos, funcionales, ambientales, humanos, además de tecnológicos. En los que se mide su éxito de acuerdo a la utilidad de la solución expresada en su consumo (pertinencia) por las categorías de, compatibilidad con el entorno y la confiabilidad del mismo [30].

El diseño se relaciona indirectamente con la sostenibilidad por intermedio de las variables que le permiten tomar decisiones. Cada variable está relacionada a un sistema antes visto.

- Estética: Está relacionado con el subsistema cultural dado que los valores culturales y el consumo cultural son los que dictan los requerimientos estéticos. Y el diseño podrá corroborar los resultados de dichas acciones mediante la compatibilidad entre dicho producto y la cultura en la que esté inmersa [31].
- Función: La función de un producto está relacionada directamente a las necesidades que se deban suplir, las cuales están mediadas al interior del subsistema económico, ya que este dará los parámetros de cuáles son las necesidades y en qué medida se requieren suplir. Este retorna información sobre el uso que se le está dando y su respectivo ciclo de vida en el mercado, el cual indica cuando un producto no está supliendo las necesidades satisfactoriamente [31].
- Industria: Determina que tipos de productos se fabricarán y con qué tipo de tecnología, esta es una variable híbrida, ya que tiene relación en la economía como en la tecnología. Las cuales están mediadas por la capacidad de producción de los productos y los mismos productos [32].
- Ambiente: Está dado por las características del territorio, los recursos disponibles en el mismo, la capacidad máxima de producción de los mismos y la Resiliencia del territorio. Esta medida por el umbral de producción que se tiene de los productos, así de esta forma se sabe cuál es la capacidad máxima de producción que se tiene disponible [33].
- Factores humanos: Como se mencionó esta variable le permite saber al diseño, para que tipo de población está diseñando, sus características internas y externas. Es la única variable en la cual el diseño no puede actuar directamente, ya que no se pueden modificar las características de la población [34]. Las variables que conforman el subsistema de Diseño aparecen en la Figura 7.



Figuran 7 Variables y conexiones que caracterizan el subsistema de Diseño.

Como resultado se obtuvo un sistema complejo, en el que se relacionó la correspondencia entre diseño y sostenibilidad, de manera en que si bien no influyen directa, a partir de la modelación en Stella, se permitió analizar los puntos de intervención de la comprobación en campo. Con el que se pudieron analizar cada uno de los subsistemas planteados inicialmente y complejizar los subsistemas que en el transcurso del tiempo se vieron necesarios, como se muestra en la Figura 8.

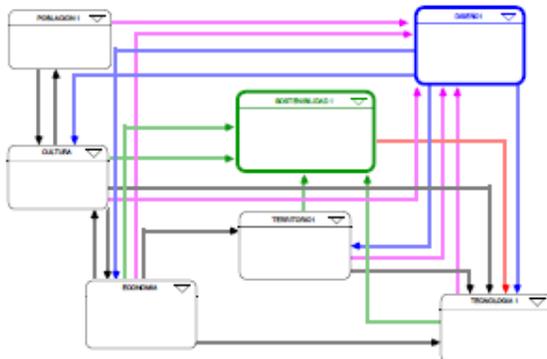


Figura 8. Mapa de alto nivel de los subsistemas que conforman el modelo Figura 2. Simulación del efecto del diseño en la sostenibilidad mediante la manipulación de....

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### Modelo

El principal resultado fue un modelo dinámico que sirve como herramienta conceptual y técnica compatible con varias metodologías de diseño, la cual puede ser utilizada en diferentes etapas del proceso de diseño.

- En la fase de observación y análisis para: o La observación y caracterización del entorno del problema a resolver y describir el comportamiento del sistema. o Analizar las relaciones que hay dentro del sistema o

Jerarquizar los puntos importantes a los que el diseño debe apuntar para ser efectivo.

- En la Fase de Alternativas: o Para tomar decisiones en cuanto a la selección de alternativas de diseño que mejor se adapten al problema. Aplicación experimental en campo Después de realizar el modelo, conceptual se utilizó en una comprobación de campo para analizar el Sistema Producto-Servicio de "Producción de Lácteos" por parte de una cooperativa de mujeres en el municipio de Choachí, Cundinamarca Colombia.

En esta fase el modelo permitió identificar un conflicto entre la posibilidad de crecimiento de la capacidad económica y la capacidad de carga del territorio, ya que las zonas de ganado en montaña de las cuales reciben el insumo principal, la leche, tienen una baja capacidad de carga y en un futuro próximo se puede estar afectando la calidad del suelo. Por lo cual se hizo un análisis de la situación en la cual se encuentran aprovechándola herramienta de diseño, dentro de la cual se obtuvieron los siguientes puntos de intervención:

- El sistema de empaque: ya que este afecta directamente la duración de los productos perecederos y requiere su propio sistema de elaboración. También porque el empaque actual genera una huella de carbono.
- Sostenibilidad social y económica en marca territorio, para lograr reconocimiento.
- Tecnología de fabricación, materiales de fabricación, ya que actualmente se usan tubos de pvc.
- Estrategia de ventas locales a turistas, aprovechando el corredor vial.
- Maximizar la calidad del producto, y producción de productos aleatorios con subproductos actuales.

#### V. CONCLUSIONES

La importancia de lograr una herramienta facilitadora del análisis de sistemas complejos en diseño cada día se hace más importante. Si bien el análisis cuantitativo de varios subsistemas parece un tanto complicado, se puede desarrollar de la mano de estudios previos hechos en otras áreas del conocimiento.

El modelo permitió hacer un acercamiento al comportamiento sistémico del territorio o entorno en el cual un producto puede ser creado, al igual que conocer el papel que juega el diseño en un desarrollo con enfoque de sostenibilidad.

Con la ayuda del modelo también se pudo identificar que el diseño no interviene directamente en la sostenibilidad, pero si lo hace a través de los demás subsistemas en especial el de la cultura y la Tecnología.

## REFERENCIAS

- [1] Boisier, S. (2005). ¿Hay espacio para el desarrollo local en la globalización?. Revista de la CEPAL.
- [2] Vázquez-Barquero, A. (2000). Desarrollo endógeno y globalización. EURE (Santiago), 26(79), 47-65.
- [3] Giménez, G. (2000). Territorio, cultura e identidades. Rocío Rosales, Globalización y regiones en México, México, Porrúa, 19-33.
- [4] Brown, T. (2008). Design thinking. Harvard business review, 86(6), 84.
- [5] Buchanan, R. (1992). Wicked problems in design thinking. Design issues, 5-21.
- [6] Grant, W. E., Pedersen, E. K., & Marín, S. L. (2001). Ecología y Manejo de Recursos Naturales: análisis de sistemas y simulación (Vol. 96). Ilica.
- [7] Kumar, V. (2012). 101 design methods: A structured approach for driving innovation in your organization.
- [8] Richmond, B. (2010). The thinking in systems thinking: eight critical skills. Tracing Connections: Voices of Systems Thinkers.
- [9] Pericot, J. (2002). El diseño y sus futuras responsabilidades. Temes de disseny, (19), 85-98.
- [10] Baud, P., Bourgeat, S., & Bras, C. (1997). Dictionnaire de géographie (Vol. 3). Paris, France: Hatier.
- [11] Gómez, Montañez, & Gustavo-Delgado Mahecha, O. (1998). Espacio, territorio y región: conceptos básicos para un proyecto nacional. Cuadernos de geografía, 1-2..
- [12] Giménez, G. (2001). Cultura, territorio y migraciones. Aproximaciones teóricas. Alteridades, 11(22), 5-14.
- [13] Rodríguez Musso, A. (2006, Noviembre). Diseño, territorio y cultura. Conferencia internacional presentada "Información, comunicación y diseño: Exploraciones sobre la complejidad del mundo contemporáneo". Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad de Cuajimalpa. Mexico, D.F.
- [14] Canclini, N. G. (2009). Consumidores y ciudadanos: conflictos multiculturales de la globalización. Debolsillo.
- [15] Molano, O. (2006). La identidad cultural, uno de los detonantes del desarrollo territorial. Rimisp, <http://procasur.cl/fida/t2.pdf>.S.
- [16] Dematteis, G., & Governa, F. (2005). Territorio y territorialidad en el desarrollo local. La contribución del modelo SLOT. Boletín de la AGE, 39, 31-58.
- [17] Vargas Hernández, J. (2011). Gobierno local: autonomía y gobernabilidad local-government: autonomy and governance. Urbano on line, 14(24), 53-68.
- [18] Fernández, D. M., & Champetier, Y. (2002). Nuevos horizontes en el desarrollo rural (Vol. 3). Ediciones AKAL.
- [19] García-González, C. G., Rodríguez-Lugo, R., & Loera-García, C., La demografía desde el enfoque de la teoría general de sistemas. Tecnociencia chihuahua. Vol. VIII, núm. 2 • mayo-agosto 2014.
- [20] Arroyo, S. C. (2006). Medir la cultura: una tarea inacabada. Periférica: Revista para el análisis de la cultura y el territorio, (7), 140-168.
- [21] Ros, M. (2002). Los valores culturales y el desarrollo socioeconómico: una comparación entre teorías culturales. Reis, 9-33.
- [22] Maslow, A. (1986). Teoría de las necesidades humanas. F. Goble.
- [23] Quintanilla, M. Á. (2005). Tecnología: Un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología. Fondo de Cultura Económica.
- [24] Blanco, J. (2008). Usos, consumos y atributos que los jóvenes guanajuatenses otorgan a las tecnologías de información y comunicación. Recuperado el, 10.
- [25] Elster, Jon (1997) El Cambio tecnológico. Investigaciones sobre la racionalidad y la transformación social. Ed. Gedisa. España.
- [26] Riechmann, J. (1995). Desarrollo sostenible: la lucha por la interpretación. Riechman, Jorge [et al.]. De la economía a la ecología. Madrid, España, Trotta.
- [27] Luffiego García, M., & Rabadán Vergara, J. M. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. In Enseñanza de las Ciencias (Vol. 18, pp. 473-486).
- [28] Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. Annual review of ecology and systematics, 1-23.
- [29] Calvente, A. (2007). Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad. Buenos Aires: Programa de Difusión e Investigación en Sustentabilidad, Centro de Altos Estudios Globales, Universidad Abierta Interamericana.
- [30] Wong, W. (1995). Fundamentos del diseño.
- [31] Lobach, B. (1981). Diseño industrial: bases para la configuración de los productos industriales. Barcelona, Gustavo Gili.

[32] Gay, A. (2002). La ciencia, la técnica y la tecnología. Tecno Red Educativa, INET, Serie Educación Tecnológica, (1), 77-91.

[33] Gallopín, G. C. (2003). Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. CEPAL.

[34] Bernardez, M. L. (2006). Tecnología del Desempejo Humano. AuthorHouse.

## AUTORES



**Mónica Alexandra Sánchez Gómez**

Graduando por el título de Diseñadora Industrial, siendo el presente documento resultado de la investigación realizada para optar por el grado de Diseñador Industrial en la

Facultad de Artes en la Universidad Nacional de Colombia.



**Edith González Afanador.** Bióloga y MsC en Ecología de la Universidad Nacional de Colombia, PhD en Ecología Regional de Texas A&M University (USA). Es Especialista en análisis de sistemas y modelos de simulación, en

sistemas de Información Geográfica (SIG), y en estadística aplicados a problemas ecológicos y ambientales. Desde 1986 ha sido docente e investigadora asociada de la Universidad Nacional de Colombia en donde imparte cursos de Pensamiento Sistémico aplicado a los problemas del Hábitat humano. En la actualidad se desempeña como coordinadora del programa de Maestría en Hábitat de la Facultad de Artes.

## 32. DYNAMIC ANALYSIS OF THE RESPONSE CAPACITY A SUPPLY CHAIN TECHNOLOGY PRODUCTS

**DIANA ROCIO ALARCÓN GRISALES, FRANCISCO JAVIER RIVERA ROZO, JUAN CARLOS OSORIO, DIEGO LEÓN PEÑA OROZCO**

Universidad del Valle - Colombia

diana.alarcon@correounivalle.edu.co, francisco.javier.rivera@correounivalle.edu.co, juan.osorio@correounivalle.edu.co, diego.l.pena@correounivalle.edu.co

### ABSTRACT

This paper presents a dynamic simulation of supply chain technology products, focus with of Blackberry study case considering as measure of the capacity response, the flexibility. This chain is synchronized in order to minimize inventory. Likewise, is very important take into a consideration this product has a very short life cycle and fast obsolescence. The model is simulated in the Vensim Dss Software and it allows to compare the actual model with the improve policy. The capacity response is evidenced like the short time needed for the development of capacity. The results reflect that demand is similar to a bell behavior. When demand increases, the plant capacity increases at a rate determined by a policy of improvement, which in turn conditions the response of the chain. During the early stages of the life cycle, the plant capacity is below demand, but when the product enters the decline stage, much of the factory facilities are idle. Inventories have oscillatory behavior, elements such as processing time, delivery time and the point of order are important factors that directly affect the inventory and the ability to respond to changes in demand. In addition, the accuracy of predictions can anticipate unexpected increases in demand which helps to increase the responsiveness of the chain. Thus, the behavior of technological products, such as mobile phones, create great difficulty when managing a supply chain, since according to the characteristics of these goods, as its obsolescence and rapid market growth and decay, requires that each of its links generate immediate response capability in order to obtain a high level of service. However, this increased capacity can be represented in an increase in costs and investment.

**KEYWORDS:** Technology Product, Supply Chain, simulation Dynamic, Response Capacity, Vensim Dss.

### 1. INTRODUCCION

El ciclo de vida de un producto es entendido como el conjunto de todas las etapas por las que pasan los artículos desde el momento que son lanzados para su venta hasta que son apartados del mercado [1]. Las características particulares de los productos y el comportamiento del mercado conllevan a que estos no generen su volumen de ventas máximo inmediatamente después de ser introducidos, ni conserven un volumen de ventas pico de forma indefinida. Es característico que con el tiempo los productos sigan un patrón de volumen de ventas, atravesando cuatro etapas: *introducción, crecimiento, madurez y decaimiento* [2]. Estas etapas pueden variar de acuerdo al ciclo de vida del producto, ya sea corto o largo.

El ciclo de vida corto es definido como un periodo limitado de tiempo, usualmente menor a un año, en el que los artículos quedan completamente expulsados del mercado, puesto que se convierten en obsoletos, por lo general no en términos de sus características físicas, sino en términos de su popularidad de marca o evolución tecnológica. Estos productos poseen particularidades como: demanda incierta, crecimiento rápido de los pedidos y alta repetición en la tasas de compra [3]. Es habitual, que las empresas orientadas a los productos con ciclo de vida corto trabajen bajo planeación primaria, sistemas de manufactura flexible y con pocos proveedores [1]. Por ello, para responder de manera continua al mercado, se genera la necesidad de cadenas de suministro flexibles, la cuales permitan reducir la vulnerabilidad de la compañía frente a los fuertes cambios del entorno.

La flexibilidad en la gestión de la cadena de suministro (CS) para productos con ciclo de vida corto se convierte en un tema de vital importancia para responder fácilmente a los cambios del mercado, de tal forma que reduzca la vulnerabilidad y la ocurrencia de eventos impredecibles y perjudiciales para las compañías [3]. Esta flexibilidad enmarcada en la capacidad de respuesta es definida como la estrategia con la cual se busca responder rápidamente a la demanda en el momento que ocurra, no a partir de inventarios, sino de los procesos de producción o de los proveedores (...), evitando largos periodos de entrega o inventarios excesivos [2]. Así mismo, la capacidad de respuesta es el medio por el cual se pretende mitigar una de las principales preocupaciones en la gestión de una CS, la demanda caprichosa del mercado, la cual ocasiona una distorsión en la información y por consiguiente, el efecto látigo [4].

También es importante definir el ambiente de manufactura, de acuerdo a la flexibilidad de capacidad de respuesta. Desde la perspectiva de la cadena de suministro, la producción bajo pedido (MTO) se diferencia de otros modelos de negocio, tales como ensamble bajo pedido (ATO), fabricación a la medida (BTO) o fabricación contra stock (MTS), por el punto de introducción del pedido [5]. Los sistemas MTO pueden ser más flexibles en el cumplimiento de las diversas órdenes personalizadas, sin embargo, son más sensibles a los cambios que ocurren en forma de flujos inesperados de la demanda. Por lo tanto, dichos sistemas son realmente dependientes de la planificación de la producción y de los mecanismos de control para superar las dificultades impuestas por los mercados globales y la volatilidad [6].

De acuerdo a lo anterior, se resalta la gran complejidad que representa el análisis de la flexibilidad en una CS para productos con ciclo de vida corto, debido a que se tienen gran cantidad de variables, comportamientos y relaciones involucradas entre sí. Para comprender el comportamiento de dicho sistema los autores necesitan conocer su integración y mecanismos. Por consiguiente, es conveniente utilizar la dinámica de sistemas como herramienta, dado que facilita la ilustración de situaciones complejas, es interactiva, de gran precisión, abarca procesos de realimentación jerárquica y permite estimar comportamientos a futuro a pesar de realizarse cambios en sus variables principales [4].

El desarrollo de este artículo se realizará de la siguiente forma: En la Sección I se lleva a cabo el planteamiento

del problema. La Sección II describe el sistema. La Sección III muestra un caso de estudio modelado con la herramienta Vensim DSS. La sección IV expone los resultados obtenidos. Finalmente, se establecen las conclusiones del estudio en la Sección V.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una cadena de suministro (CS) es dinámica e implica el constante flujo de información, productos y relación entre sus etapas [7]. Cada etapa de la CS realiza procesos diferentes e interacciones con otras. Entonces, cuando en una CS se considera a cada miembro de forma aislada, se generan grandes dificultades en cuanto a que se producen inventarios y exceso de capacidad, para proteger las empresas contra la variabilidad y volatilidad [8]. Así mismo, este aislamiento puede crear distorsión en la información y ocasionar un efecto látigo. Este efecto conduce a grandes ineficiencias como inversión excesiva en inventarios, pérdida de ingresos, equivocación en los planes de capacidad y fallas en los programas de producción [4].

Las Cadenas de Suministro (CS) para productos con ciclo de vida corto son más vulnerables frente a los eventos no deseados y se tienen dificultades al momento de estimar la demanda. Por lo general, los productos con ciclo de vida corto como los tecnológicos presentan muy pocos datos históricos disponibles para predecir su demanda, y al ser esta demanda incierta, implica una aleatoriedad en los pronósticos ocasionando que la planificación de la capacidad y programación de la producción sean difíciles [8]. Así mismo, se genera la necesidad de tener inventarios excesivos con el fin de mantener el nivel de servicio [6]. De igual manera, debido a que la demanda de dichos productos crece de forma rápida e impredecible, las empresas se enfrentan a más riesgo de escasez en las primeras etapas. Las carencias pueden crear demanda fantasma y reducir el número de clientes potenciales. Como resultado, las empresas pueden tener grandes inventarios y reducción en sus niveles de ventas. Más aún, la planta de fabricación podría ser obsoleta en poco tiempo en comparación a una planta dedicada a productos con ciclo de vida largo; y a pesar de que la tasa de repetición de compra es alta, la empresa no goza de las ventajas habituales de compras repetidas [4]. También, cuando hay un rápido crecimiento e incertidumbre en la demanda, los envíos desde la fábrica se ven limitados por la capacidad de producción y pueden obstaculizar las ventas al por menor [8].

Los productos basados en tecnología tienen ciclos de vida más cortos debido a la rápida innovación y desarrollo en ciencia y tecnología. El comportamiento del cliente en la búsqueda de la última innovación y estilo, influye notoriamente en el desarrollo del ciclo de vida; ejemplo de estos productos son los teléfonos móviles y ordenadores, los cuales tienen ciclos de innovación más cortos volviéndose obsoletos rápidamente, ya sea funcional o psicológicamente [9]. De igual forma, otro aspecto que afecta el ciclo de vida de este tipo de productos es el reporte de avances tecnológicos con bastante frecuencia, debido a la economía globalizada y la dura competencia, generando una reducción considerable en los ciclos de vida. Estos factores ponen una enorme cantidad de presión en el sistema de gestión de la cadena de suministro existente. Para el sustento y la expansión de tal entorno dinámico, se requiere una mejor comprensión de la dinámica de la tecnología (o su aplicación) y su difusión, con el fin de favorecer a la gestión de la CS [10].

Una empresa dedicada a la manufactura de productos tecnológicos que recurre a un sistema de producción dirigido al MTS (Make to Stock) para suplir las necesidades de los clientes, tendrá como resultados grandes cantidades de producto final en inventario [6]. Entonces, de acuerdo a las características de los productos con ciclo de vida corto, como su demanda incierta y rápida obsolescencia, el tener exceso de inventario crea una serie de dificultades como absorción excesiva de capital sin adicionar un valor significativo al producto y dificultad para el diseño integrado de las cadenas de abastecimiento [2]. De igual manera, un exceso de existencias ocasiona un impacto significativo en la gestión administrativa, ya que afecta directamente a los estados financieros de la empresa, como son el balance general y el estado de pérdidas, y ganancias [11]. En síntesis, se puede decir que las empresas que producen artículos tecnológicos pueden tener conflictos entre sus principales objetivos, como son incrementar las utilidades y satisfacer a los clientes, ya que al no conocerse un comportamiento estable de los clientes y tenerse una demanda incierta, se crea la necesidad de mantener inventarios; necesidad que a su vez representa una dificultad, puesto que estos bienes se vuelven obsoletos con rapidez, generando como consecuencia un mayor aumento en los costos y disminución en los ingresos.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos mencionados, se puede resumir el problema de estudio en la siguiente

pregunta ¿Cómo afecta la demanda incierta de los productos tecnológicos a la capacidad de respuesta en una cadena de suministro productor – cliente?

## II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema objeto de estudio está compuesto por los eslabones del fabricante, minorista y mercado, además de realizarse el pronóstico. En una CS para productos con ciclo de vida corto, el eslabón del fabricante tiene características particulares como planeación primaria, estimación de la demanda para cada producto, implementación de sistemas de manufactura flexible, outsourcing, producción bajo pedido, bajos niveles de materia prima y producto terminado, y alianzas con pocos proveedores, ya que éstos ofrecen la mayoría de las materias primas requeridas para elaborar los productos [1].

El eslabón del minorista debe tener una cantidad óptima de stock disponible con el fin de buscar ser visible y desempeñar un papel importante en la estimulación de la demanda. Por ello, es necesario que el fabricante garantice dicha disponibilidad de producto, dado que la temporada de venta es pequeña [12]. Las empresas que venden este tipo de productos a menudo reciben descuentos por cantidad de sus proveedores [13], en este caso el fabricante.

El mercado, tiene variaciones inexplicables, crece de una forma rápida y “caprichosa” [4]. La demanda del producto es muy incierta e impredecible en su lanzamiento, esto origina ausencia del historial de ventas y dificultad en el uso de modelos clásicos para el cálculo de los pronósticos [14]. La disminución en la calidad del pronóstico conlleva a un aumento inmediato en el nivel de existencias de seguridad, cuya función es compensar las variaciones impredecibles en la demanda. De hecho, el costo de inventario de estos productos es alto debido al gran riesgo de obsolescencia. Más aún, la demanda esperada presenta un crecimiento y decadencia en un periodo de tiempo menor; esto hace más exigentes el uso de un pronóstico exacto para estos artículos. De igual manera, la empresa debe ser más flexible en cuanto a los cambios en su capacidad de producción acorde con la exigencia del mercado.

En cuanto a los inventarios, éstos tienen alta rotación y su posibilidad de acumularse para el periodo final es mayor. La importancia de considerar la demanda fantasma radica en que pueda alterar la percepción de

la demanda real. Para los productos con ciclo de vida corto, su tiempo de reconocimiento en el sistema juega un papel clave, pues facilita la toma acertada de decisiones [1].

A continuación, el diagrama causal propuesto el cual permitirá mostrar el comportamiento del sistema, y la interrelación entre las variables más relevantes dentro de la estructura.

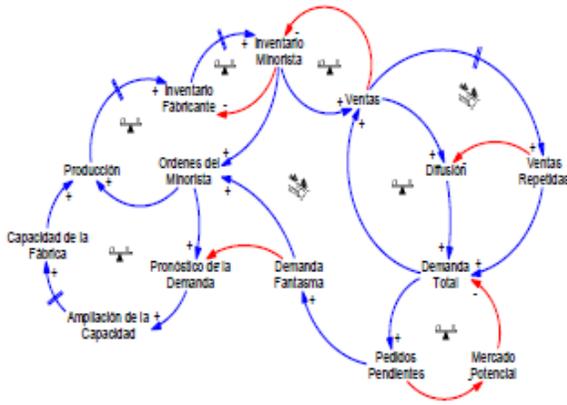


Figura 1. Diagrama Causal Cadena de Suministro Productos Tecnológicos.

De acuerdo a los bucles de realimentación presentes en la estructura del sistema, y teniendo en cuenta las relaciones causales para la interpretación, se describen los siguientes comportamientos: Un incremento en la demanda total del mercado, ocasiona un aumento en las ventas del minorista y una reducción de su inventario. Esto genera que las órdenes del minorista percibidas por el fabricante aumenten, originando un mayor pronóstico de demanda esperada por dicho eslabón. Si el fabricante experimenta una mayor demanda esperada, siente la necesidad de ampliar su capacidad de fabricación y así responder a los requerimientos del cliente; no obstante, la ampliación tomaría un tiempo. Tener una mayor capacidad de producción causa un crecimiento en el inventario tanto del fabricante, como del minorista, y como consecuencia se produce un aumento en las ventas; sin embargo, es necesario considerar estrategias de marketing, debido a que al experimentar el minorista altos niveles de inventario, reduzca el precio del producto y aumente sus ventas. Este aumento en las ventas, produce una mayor rapidez de difusión del producto en el mercado, y por ende, un incremento en la demanda total.

De igual modo, un incremento en la demanda total hace que el minorista tenga mayores pedidos pendientes, ya que debe ocuparse de una mayor cantidad de clientes

con cantidad de stock disponible. Esto origina una reducción del mercado potencial, puesto que se logra atender mayor. No obstante, se debe considerar una fracción de clientes que no están dispuestos a esperar por su pedido y deciden retirarse del mercado, reduciendo así la demanda total. De igual manera, un aumento en los pedidos pendientes del minorista, genera un incremento de la demanda fantasma y como consecuencia, existe una mayor cantidad de órdenes realizadas al fabricante. Entre mayor órdenes tenga el fabricante, mayor tendrá que ser su producción, ocasionando un incremento en la cantidad de inventarios disponibles en los eslabones del minorista y del fabricante.

Una vez expuesto lo anterior, en la figura 2 se procede a explicar el conjunto de variables (nivel, flujo y auxiliares) y parámetros más relevantes del sistema:

Etapa	Nombre	Clasificación	Descripción
Mercado	Mercado Potencial	Variable de Nivel	Número teórico de clientes potenciales que se emplean durante el período de estudio.
	Nivel de Difusión	Variable de Nivel	Valor acumulado de las unidades promocionadas durante el período de estudio.
	Ventas Repetidas	Variable Auxiliar	Número de clientes que compran nuevamente el producto.
	Demanda Total	Variable Auxiliar	Considera la Demanda (o Demanda Periódica) y las Ventas Repetidas.
	Velocidad de Difusión	Parámetro	Fracción que representa la velocidad de propagación del producto en el mercado.

Figura 2. Descripción de las variables más relevantes del Mercado.

Etapa	Nombre	Clasificación	Descripción
Minorista	Inventario del Minorista	Variable de Nivel	Cantidad de existencias del Minorista.
	Órdenes del Minorista	Variable Auxiliar	Número de unidades requeridas por el Minorista al Fabricante.
	Demanda Fantasma	Variable Auxiliar	Se presenta cuando el Minorista experimenta desabastecimiento. Por ello, duplica los órdenes al fabricante.

Figura 3. Descripción de las variables más relevantes del Minorista.

Etapa	Nombre	Clasificación	Descripción
Fabricante	Inventario del Fabricante	Variable de Nivel	Nivel de existencias del Fabricante.
	Capacidad de Fabrica	Variable de Nivel	Capacidad de fabricación disponible.
	Ampliación de la Capacidad	Variable de Nivel	Capacidad de producción en construcción.
	Producción	Variable de Flujo	Unidades fabricadas por semana.
	Política de Mejora	Parámetro	Fracción o Porcentaje a la cual serán expandidas las instalaciones.
	Tiempo de Procesamiento	Parámetro	Tiempo requerido para procesar un pedido.
Tiempo de Ampliación	Parámetro	Tiempo requerido para expandir las instalaciones.	

Figura 4. Descripción de las variables más relevantes del Fabricante.

Etapa	Nombre	Clasificación	Descripción
Pronóstico	Pronóstico de la Demanda	Variable de Nivel	Demanda prevista a partir de los informaciones suministrada.
	Entrada de Datos	Variable de Flujo	Unidades proyectas por semana, con base en las demandas futuras y los órdenes del minorista.
	Crecimiento & Máximo Histórico	Variable Auxiliar	Detecta los crecimientos y decrecimientos de la demanda cada período.
	Alfa	Parámetro	Coefficiente de suavización del pronóstico.

Figura 5. Descripción de las variables más relevantes del Pronóstico.

En la figura 6 puede apreciarse el diagrama de Forrester del eslabón del Mercado, el cual cuentan con dos niveles representativos correspondientes a las variables: Mercado Potencial y Nivel de Difusión. Asimismo, en la figura 7 se muestra el diagrama de Forrester del eslabón del Minorista; dicho eslabón cuentan igualmente con dos niveles como: Inventario del Minorista y Ventas Acumuladas. También, en la figura 8, se presentan el diagrama de Forrester con los elementos del Fabricante, tales como: Ampliación de la Capacidad, Capacidad de Fábrica y el Inventario del Fabricante. Finalmente, en la figura 9 contiene el diagrama de Forrester del Pronóstico, el cual cuenta con un nivel.

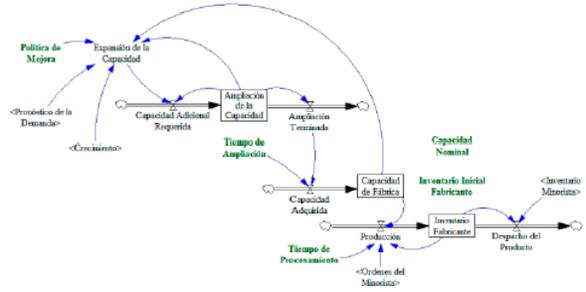


Figura 8. Diagrama de Forrester, eslabón del Fabricante.

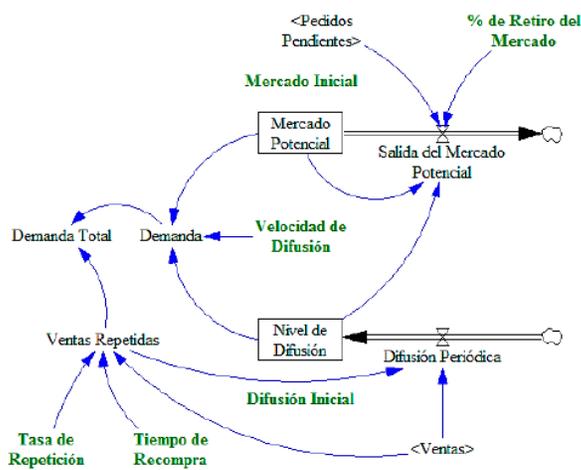


Figura 6. Diagrama de Forrester, eslabón del Mercado.

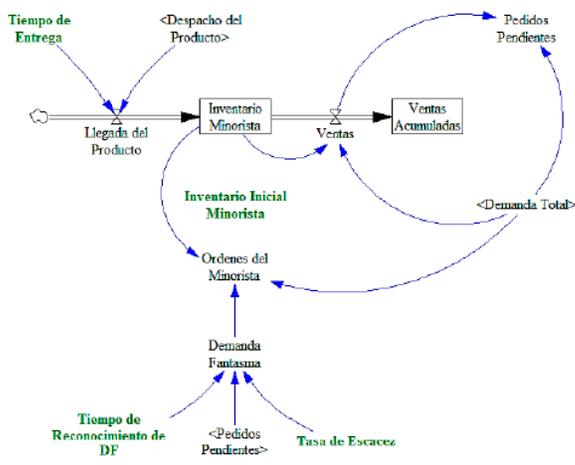


Figura 7. Diagrama de Forrester, eslabón del Minorista.

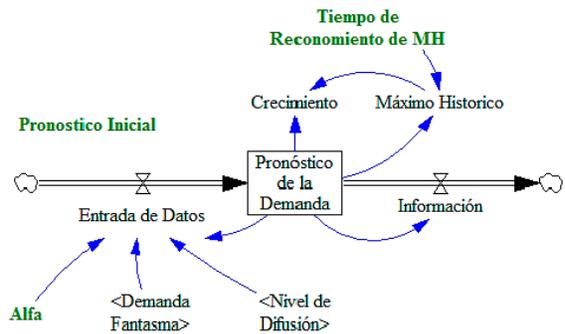


Figura 9. Diagrama de Forrester, eslabón del Pronóstico.

A continuación, se exponen las fórmulas utilizadas en el modelo propuesto:

- Ampliación de la Capacidad= INTEG (Capacidad Adicional Requerida-Ampliación Terminada, 0)
- Ampliación Terminada=IF THEN ELSE (Ampliación de la Capacidad > 0, Ampliación de la Capacidad/TIME STEP, 0)
- Capacidad Adicional Requerida= IF THEN ELSE (Ampliación de la Capacidad = 0, Expansión de la Capacidad, 0)
- Capacidad Adquirida= DELAY FIXED (Ampliación Terminada, Tiempo de Ampliación , 0)
- Capacidad de Fábrica= INTEG ( Capacidad Adquirida, Capacidad Nominal)
- Crecimiento= IF THEN ELSE (Pronóstico de la Demanda > Máximo Histórico, 1 , 0)
- Demanda Fantasma= DELAY FIXED (Pedidos Pendientes\*Tasa de Escasez, Tiempo de Reconocimiento, Pedidos Pendientes\*Tasa de Escasez )
- Demanda Total= Demanda + (Ventas Repetidas\*TIME STEP)
- Despacho del Producto= IF THEN ELSE (Inventario Fabricante > 0 :AND: Inventario Minorista = 0, Inventario Fabricante/TIME STEP , 0)

- Difusión Periódica= IF THEN ELSE (Ventas -Ventas Repetidas > 0, Ventas-Ventas Repetidas , 0)
- Entrada de Datos= ( (MAX ((Ordenes del Minorista - Demanda Fantasma), 0 )/TIME STEP)\*Alfa) + ((Pronóstico de la Demanda/TIME STEP)\*(1-Alfa))
- Información = Pronóstico de la Demanda/TIME STEP
- Expansión de la Capacidad= IF THEN ELSE (Crecimiento=1, MAX ((Pronóstico de la Demanda - Capacidad de Fábrica - Ampliación de la Capacidad)\*Política de Mejora, 0) , 0)
- Inventario Fabricante= INTEG (Producción-Despacho del Producto, Inventario Inicial Fabricante)
- Inventario Minorista= INTEG (Llegada del Producto-Ventas, Inventario Inicial Minorista)
- Llegada del Producto= DELAY FIXED (Despacho del Producto, Tiempo de Entrega , Despacho del Producto)
- Máximo Histórico=DELAY FIXED (MAX (Pronóstico de la Demanda, 0), Retraso, MAX (Pronóstico de la Demanda, 0))
- Mercado Potencial= INTEG (-Salida del Mercado Potencial, Mercado Inicial)
- Nivel de Difusión= INTEG (Difusión Periódica, Difusión Inicial)
- Órdenes del Minorista= MAX ((Demanda Total + Demanda Fantasma - Inventario Minorista), 0)
- Pedidos Pendientes= MAX (Demanda Total - (Ventas\* TIME STEP), 0)
- Producción= DELAY FIXED (MIN (MAX (Órdenes del Minorista-Inventario Fabricante, 0), Capacidad de Fábrica)/TIME STEP, Tiempo de Procesamiento, MIN (MAX (Ordenes del Minorista-Inventario Fabricante, 0), Capacidad de Fábrica)/TIME STEP)
- Pronóstico de la Demanda= INTEG (Entrada de Datos - Información, 0)
- Salida del Mercado Potencial= IF THEN ELSE (Mercado Potencia > Nivel de Difusión, Pedidos Pendientes\*\*"% de Retiro del Mercado", 0)
- Ventas= MIN (Inventario Minorista, Demanda Total)/TIME STEP
- Ventas Repetidas= DELAY FIXED (Ventas\*Tasa de Repetición, Tiempo de Recompra , 0)
- Demanda= MAX (Velocidad de Difusión\*Nivel de Difusión\*(Mercado Potencial-Nivel de Difusión), 0)
- Ventas Acumuladas= INTEG (Ventas, 0)

### III. CASO DE ESTUDIO

En esta Sección se muestra un caso de estudio para el modelo propuesto, teniendo en cuenta los datos suministrados de los celulares BlackBerry.

De acuerdo con la IDC (International Data Corporation) Worldwide Trimestral Mobile Phone Tracker, para el año 2013 se vendieron un total de 1.004 millones de teléfonos móviles en el mundo; mientras que para el año anterior fue de 725,3 millones de unidades. Los Smartphone representaron el 55,1 % de todas las ventas de teléfonos móviles en 2013, frente al 41,7 % de todas las ventas en 2012. En el mercado de telefonía móvil en todo el mundo, los vendedores colocaron a disposición 1,822 millones de unidades (2013), un 4,8 % de 1,738 millones de unidades vendidas en el año anterior (2012). Solo en el cuarto trimestre del 2013 se vendieron un total de 488,4 millones de unidades en todo el mundo, un 0,9 % más respecto a los 484,0 millones de unidades vendidas en el año 2012 [15].

Durante los años 2012 y 2013, la empresa BlackBerry vendió cerca de 64 millones de smartphones en el mundo, 36 y 28 respectivamente. De acuerdo a datos obtenidos de la página oficial [16], se tiene que el nivel de ventas trimestrales de la compañía durante los periodos mencionados son: 11 millones de unidades para el trimestre 2-2012, 14 y 11 millones de unidades para los trimestres 3 y 4 del 2012 respectivamente; 8, 7, 7, 6 millones de unidades vendidas respectivamente para los 4 trimestres del año 2013.

Con base a la información anterior, se deduce el mercado potencial a partir de las ventas mundiales de teléfonos móviles y del porcentaje de Smartphones vendidos para el año 2012, es de 302.450.100 unidades. De igual forma, considerando la oferta de teléfonos móviles, las unidades vendidas por BlackBerry, los datos trimestrales de dichas ventas y la composición periódica trimestral y mensual, se establece una oferta inicial de 2.628.358 unidades, correspondientes al valor inicial del Nivel de Difusión. La cifra mencionada aplica para las unidades iniciales en el inventario del minorista y como base para para arrancar con el sistema de pronósticos. Así mismo, la capacidad de la fábrica y su inventario, adoptarán el valor correspondiente a la mitad de la oferta, es decir, 1.314.179 de unidades. Cabe aclarar que los valores antes mencionados, con excepción del mercado potencial, son planteados como punto de partida para ajustar el modelo a los datos obtenidos.

Por otro lado, para los parámetros con los cuales no se contaba con la información necesaria, se utilizaron datos iniciales del caso del Tamagotchi [4], que junto con las herramientas de calibración y análisis de sensibilidad de Vensim Dss, permitieron deducir los datos restantes para el caso de estudio.

Una vez implementada las herramientas de Vensim Dss, se obtiene los siguientes valores: *Difusión Inicial* = 1.83883e+006, *Inventario Inicial Minorista* = 1.83876e+006, *Inventario Inicial Fabricante* = 858854, *Capacidad Nominal* = 1.29895e+006, *Pronostico Inicial* = 3.192e+006, *Tasa de Escasez* = 0.2, *Tasa de Repetición* = 1, *Velocidad de Difusión* = 1.71377e-009, *Alfa* = 0.0108014, *Política de Mejora* = 0.1, *Tiempo de Recompra* = 4, *Tiempo de Entrega* = 3, *Tiempo de Procesamiento* = 10.7639, *Tiempo de Reconocimiento de DF* = 6.49998, *Tiempo de Ampliación* = 12, *Tiempo de Reconcomiendo de MH* = 11.9132.

#### IV. RESULTADOS

Después de planteado el caso de estudio en la sección anterior, se realiza la simulación del modelo en la herramienta Vensim DSS, para un horizonte de tiempo de 78 semanas. Además, se exponen los resultados de las variables más relevantes y cómo se afectan estas al realizar variaciones en el sistema. Los principales resultados se observan en las siguientes figuras:

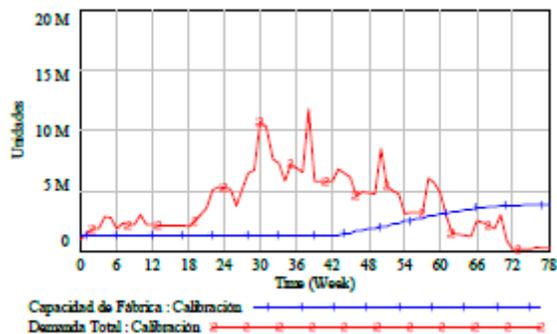


Figura 10. Capacidad de Fábrica Vs Demanda Total.

En la figura anterior puede apreciarse que la demanda (línea color rojo) tiene un comportamiento similar a la de una campana. De igual manera, se puede observar que el comportamiento de la capacidad del fabricante desde la primer semana hasta la 43 fue constante, y luego tuvo un leve incremento. Sin embargo, dicha capacidad fue inferior a la demanda a hasta la semana 61, por lo que el fabricante no logra expandir su capacidad

oportunamente cuando la demanda alcanza su pico máximo.

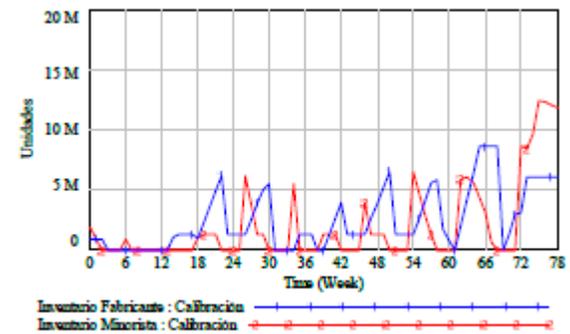


Figura 11. Inventario del Fabricante Vs Inventario del Minorista.

En la figura 11 se observa que tanto el inventario del minorista, como del fabricante, mantienen un comportamiento oscilatorio creciente con las semanas. Dicho comportamiento se da, por un lado, debido a que se propuso un ambiente de manufactura bajo pedido el cual no requiere un punto de reorden; por otro lado, ya que con el tiempo existe un aumento en la capacidad de fábrica, y con esta un incremento en la producción y los inventarios. De igual modo, se aprecia que el inventario del fabricante (línea color azul), en comparación al minorista, termina en menor cantidad, resultado de un mejor flujo de información aguas arriba.

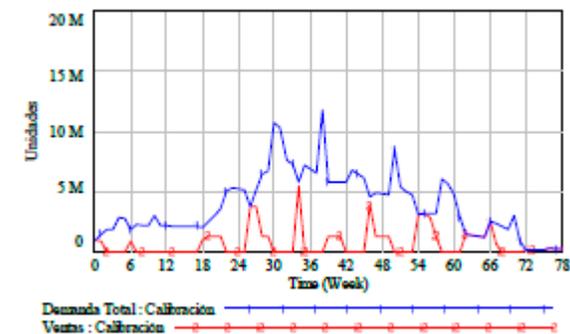


Figura 12. Demanda Total vs Ventas

En la figura 12, se observa que las ventas fueron inferiores con respecto a lo que se demandó en cada periodo, excepto en las semanas 26, 54, 55, 62 hasta la 66, y 72 hasta la 78. Igualmente, se aprecia la existencia de varios periodos donde las ventas fueron nulas, esto se debe al constante desabastecimiento del minorista y la poca respuesta de la fábrica en sus pedidos.

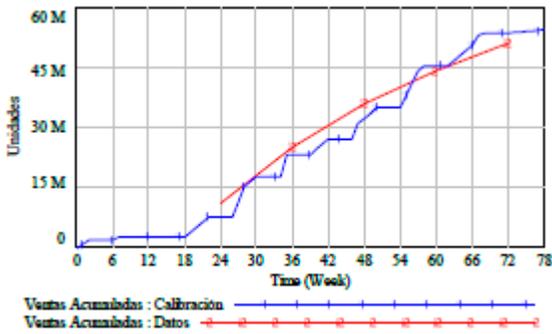


Figura 13. Ventas Acumuladas

En la figura 13, se analizan dos aspectos importantes: en primer lugar, se observa la relativa consistencia del modelo respecto a los datos correspondientes a dicha variable; en segundo lugar, se evidencia el número de unidades vendidas durante el periodo de estudio, las cuales fueron de 54.500.000 millones de unidades de celulares BlackBerry en 78 semanas.

Realizada la simulación de la situación inicial y de analizarse los resultados, se procede a establecer la optimización de los parámetros de interés con el fin de mejorar la respuesta del sistema. Una vez implementada la optimización de parámetros, el valor de las constantes fueron: Alfa = 0.210183. Pronostico Inicial = 2.62652e+006, Difusión Inicial= 2.53792e+006, Inventario Inicial Minorista= .62844e+006, Inventario Inicial Fabricante= 1.61224e+006. Capacidad Nominal = 1.32525e+006, Política de Mejora= 0.592546, Velocidad de Difusión = 1.42505e-009, Tiempo de Entrega = 2 semanas, Tiempo de Reconocimiento de MH = 1 semana, Tiempo de Ampliación= 4 semanas, Tiempo de Procesamiento = 4 semanas, Tiempo de Reconocimiento de DF = 4.5 & Tasa de Escasez = 0.0499971.

A continuación se presentan los comportamientos que presentan las principales variables del sistema:

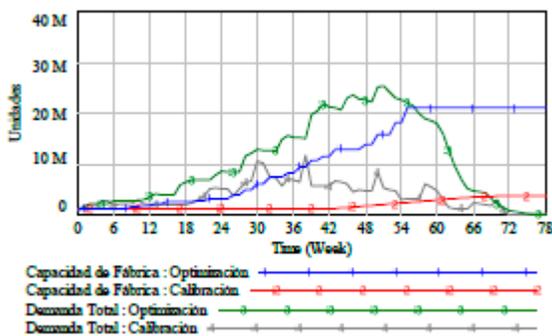


Figura 14. Capacidad de Fábrica vs Demanda Total, Optimización vs Calibración

En la figura 14 puede observarse una comparación entre la demanda total y la capacidad de fábrica del escenario inicial y el optimizado. Una vez ejecutada la optimización de los parámetros, puede generarse una mayor capacidad de producción acorde al comportamiento de la demanda, ya que al disminuirse la tasa de escasez y al mejorarse los pronósticos de la demanda, el fabricante tiene mejor respuesta en cuanto a su capacidad. Sin embargo, es importante considerar que factores tales como los retrasos y los inventarios hacen que la capacidad no aumente exactamente a la misma proporción de la demanda y en el mismo lapso de tiempo.

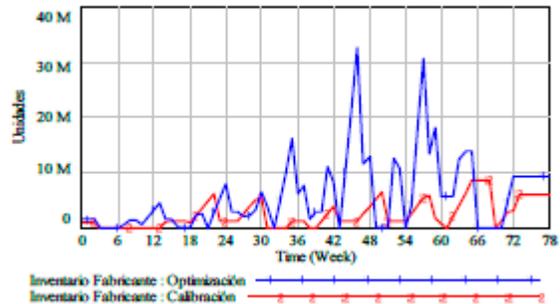


Figura 15. Inventario de Fabricante, Optimización vs Calibración

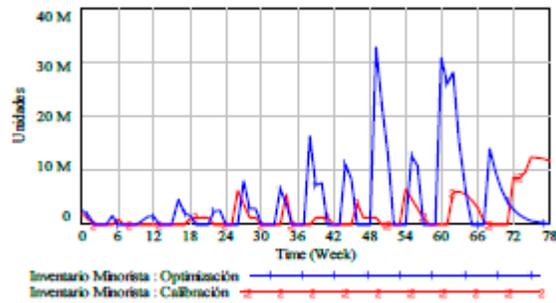


Figura 16. Inventario del Minorista, Optimización vs Calibración

Entre tanto, en la figura 15 y 16 se analiza que los inventarios del fabricante y del minorista durante las semanas 42-48 y 54-57 aproximadamente, aumentan en comparación a la simulación inicial. Lo anterior se genera con el fin de que la cadena pueda responder de manera más oportuna al pico de la demanda originado durante las semanas 42 a la 60 aproximadamente.

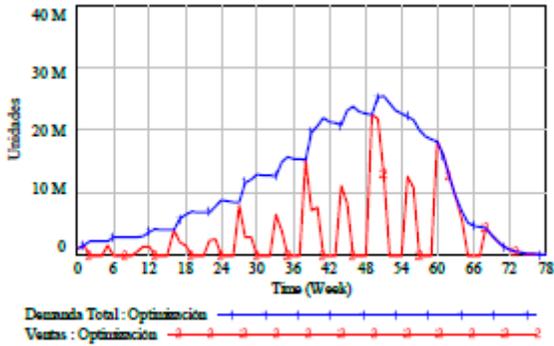


Figura 17. Demanda Total vs Ventas, después de la optimización.

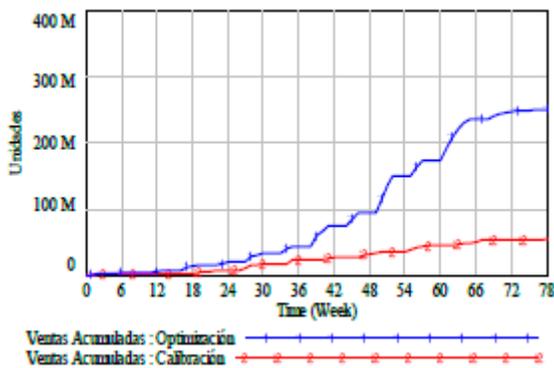


Figura 18. Ventas, Optimización vs Calibración.

En las figura 17 y 18 se observa una mayor frecuencia y aumento en las ventas; además, se aprecia que las ventas semanales son más ajustadas al número de unidades demandadas por el mercado, lo cual reduce el número de pedidos pendientes. El número de ventas totales acumuladas al final del período de estudio llegó a ser de 225.550.000 millones de unidades de celulares BlackBerry, debido al aumento del 39% aproximadamente en la difusión periódica del escenario actual, respecto al anterior.

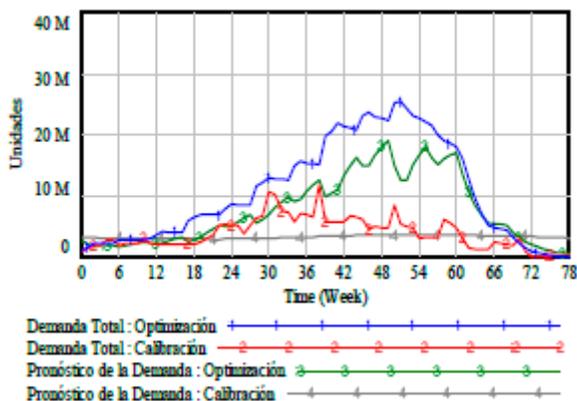


Figura 19. Demanda Total vs Pronóstico de la Demanda, Optimización vs Calibración.

La figura 19 muestra los comportamientos obtenidos de la demanda y su respectivo pronóstico, tanto para la simulación inicial (calibración) como para la optimización. Puede observarse que la demanda total (línea color azul) es mayor en la optimización, esto se debe a factores como la velocidad de difusión y los inventarios, que contribuyen impulsar los productos, además de la disminución de los pedidos pendientes y las ventas repetidas, lo cual genera que los clientes compren más y se retiren menos del mercado.

Después de haberse planteado los dos escenarios para el caso de estudio, y de analizarse los resultados, se deja la discusión de: cómo afecta la implementación de diversas políticas de mejora enfocadas a la capacidad de fabricación, ya sea mediante la ampliación de la cantidad instalaciones disponibles a nivel mundial o contratación de mano de obra extra, al nivel de respuesta de toda la cadena; además, cómo podrían las estrategias de mercadeo y fidelización de los clientes respecto a una marca, mejorar el nivel de difusión y la incertidumbre en la demanda, y así, toda la cadena de productos tecnológicos pueda anticiparse al decaimiento de la demanda.

## V. CONCLUSIONES

El comportamiento de los productos tecnológicos, como los teléfonos móviles, generan gran dificultad al momento de gestionar una cadena de suministro, ya que de acuerdo a las características de estos bienes, como su obsolescencia y el rápido crecimiento y decaimiento del mercado, obliga a que cada uno de sus eslabones generen una capacidad de respuesta inmediata con el fin de obtener un alto nivel de servicio. Sin embargo, dicho aumento de la capacidad puede verse representado en un aumento en los costos e inversión.

Acotar el tiempo que se requiere para aumentar la capacidad del fabricante y el anticiparse a ese pico de la demanda, permite que el comportamiento aguas arriba de la cadena se mejore notablemente. Además, el generarse mejor flujo de información aguas arriba de la cadena, hace que la percepción de escasez se reduzca, y con esta, la incertidumbre en la demanda.

Mejorar factores como la velocidad de difusión, contribuyen notoriamente en el impulso de los productos en el mercado, ya que permite una disminución de los pedidos pendientes y ventas repetidas, lo cual genera que los clientes compren más y se retiren menos del

mercado, para de esta manera, llegar a una mayor cantidad de clientes y prolongar la caída de la demanda, posibilitando que los eslabones del fabricante y minorista, amortigüen el impacto que genera la caída rápida de la demanda.

### AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos llegar hasta estas instancias y a nuestras familias por apoyarnos siempre. De igual forma, a nuestros compañeros y profesores por motivarnos a presentar este documento y contribuir en el desarrollo de este Artículo.

### REFERENCIAS

- [1] D. Ramírez and M. Valencia. Dinámica de la Gestión de la Cadena de Suministro para Productos con Ciclo de Vida Corto. Escuela de ingeniería de Antioquia, Envigado, Colombia. 2012
- [2] R. Ballou. Logística. Administración de la cadena de suministro. Quinta edición. Pearson Educación, México. Pág 53-65. 2004
- [3] E. Briano, C. Caballini, P. Giribone and R. Revetria. Using System Dynamics for Short Life Cycle Supply Chains Evaluation. Winter Simulation Conference. 1820 – 1832. 2010
- [4] T. Higuchi and M. Troutt. Dynamic simulation of the supply chain for a short life cycle product—Lessons from the Tamagotchi case. Computers & Operations Research, 31, 1097-1114. 2004
- [5] H. Li and K. Womer. Optimizing the supply chain configuration for make-to-order manufacturing. European Journal of Operational Research, 221, 118 – 128. 2012
- [6] M. Özbayrak, T. Papadopoulou and E. Samaras. A flexible and adaptable planning and control system for an MTO supply chain system. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 22, 557–565. 2006
- [7] C. Sunil and P. Meindl. Supply Chain Management. New Jersey: Prentice-Hall. Estados Unidos. Pág 4. 2001
- [8] N. Kamath and R. Roy. Capacity augmentation of a supply chain for a short lifecycle product: A system dynamics framework. European Journal of Operational Research, 179, 334–351. 2007
- [9] S. Gan, I. Pujawana, Suparno, and B. Widodo. Pricing decision model for new and remanufactured short-life cycle products with time-dependent demand. Operations Research Perspectives, 2, 1–12. 2015
- [10] U. Chanda and R. Aggarwal. Optimal inventory policies for successive generations of a high technology product. Journal of High Technology Management Research, 25, 148–162. 2014.
- [11] C. Vidal. Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios. Comité Editorial – Universidad del Valle (en evaluación). Colombia. Pág 4 y 5. 2010.
- [12] G. Partha, S. Sarmah and M. Jenamani. An integrated revenue sharing and quantity discounts contract for coordinating a supply chain dealing with short life-cycle products. Applied Mathematical Modelling, 30, 4120–4136. 2014.
- [13] B. Avittathur, R. Patil, and J. Shah. Supply chain strategies based on recourse model for very short life cycle products. Int. J. Production Economics, 128, 3–10. 2010.
- [14] S. Berbain, R. Bourbonnais and P. Vallin. Forecasting, Production and Inventory Management of Short Life-Cycle Products: A Review of the Literature and Case Studies. Supply Chain Forum An International Journal, 12(4). 2011.
- [15] <http://www.elblogsalmon.com/empresas/blackberry-en-tres-graficas-sus-ultimos-resultados-financieros>
- [16] <http://global.blackberry.com/es.html>

### AUTORES

**Diana Rocío Alarcón.** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle - sede Buga. Interesada en el estudio y análisis dinámico de la cadena de suministro para productos tecnológicos con un enfoque de capacidad de respuesta.

**Francisco J. Rivera.** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle - sede Buga. Además, cuenta con un título de Tecnología en Electrónica, obtenido en la misma Universidad en el año 2010. Interesado en el estudio y análisis dinámico de la cadena de suministro para productos tecnológicos con un enfoque de capacidad de respuesta.

**Diego Leon Peña O.** Ingeniero industrial de la universidad del Valle y Docente Tiempo completo de la Universidad del Valle. Interesado en el estudio de la cadena de suministro de productos con ciclos de vida corto como los tecnológicos o frutícolas.

**Juan Carlos Osorio.** Ingeniero industrial de la universidad del Valle y estudiante de doctorado de la misma Universidad. Docente Tiempo completo de la Universidad del Valle y profesor de la asignatura Introducción a la Simulación Dinámica.

### 33. SEIS MICROMUNDOS PARA ENSEÑAR, INCENTIVAR Y FORTALECER EL PENSAMIENTO SISTÉMICO

CESAR JARAMILLO, JOHN MARIO OSORIO TRUJILLO

cejana@utp.edu.co, osoriotrujillo@msn.com

#### ABSTRACT

Durante 15 años desde la coordinación de GEIO, y hoy de manera personal e independiente, me he dedicado a promover actividades lúdico constructivistas para la gestión del conocimiento de muchos temas relacionados con los aspectos cuantitativos y cualitativos de las ingenierías. Acá se plantean las ideas descriptivas básicas relacionadas con la implantación y uso de seis ejercicios propuestos por Meadows y Sweeney en sus textos THE SYSTEM PLAYBOOK y CONNECTED WISDOM, muy útiles para la gestión del conocimiento relacionado con el Pensamiento Sistémico.

El mayor objetivo de las actividades es la apropiación, por parte de los estudiantes, de tres capítulos: Las competencias del Pensador Sistémico, Las leyes que rigen una Naturaleza Sistémica, y Las Cinco Disciplinas de Senge.

En general se vivieron tres etapas: conocimiento preliminar de los ejercicios, práctica y evaluación en nuestros propios escenarios, y práctica y evaluación en los escenarios donde hemos gestionado ese conocimiento, frecuentemente eslabones de la red IDDEAL.

El objetivo de ésta ponencia es mostrarle a la comunidad asistente al evento el desarrollo de esas etapas, y plantearles la oferta de incluir la temática en sus cursos de Pensamiento Sistémico Básico.

**PALABRAS CLAVE:** Pensamiento Sistémico, Disciplinas, Lúdica, Constructivismo.

#### ABSTRACT

During last 15 years, first as CEO in GEIO and actually as independent player, I have promoted constructivist games for manage the knowledge related with the qualitative and quantitative engineering. Here I show the basic descriptive ideas for the implementation and use of six exercises offered by Meadows and Sweeney in their books The System Playbook and Connected Wisdom, very much useful for teach System Thinking.

The major goal of the games is that the students learn three chapters: The awareness of the Sistem Thinker, The laws governing a Systemic Nature and the Senge's Five Disciplines.

In general, we lived 3 stages: the first knowledge for the exercises, the practice and tuning at our own sets, and the practice and tuning at the sets where we have taught, almost always members of IDDEAL.

The goal of this lecture is to show in this meeting the development of this three stages and to offer the subject for his Systems Thinking Courses

**KEYWORDS:** Systems Thinking, Five Disciplines, Games, Constructivism.

## I. INTRODUCCION.

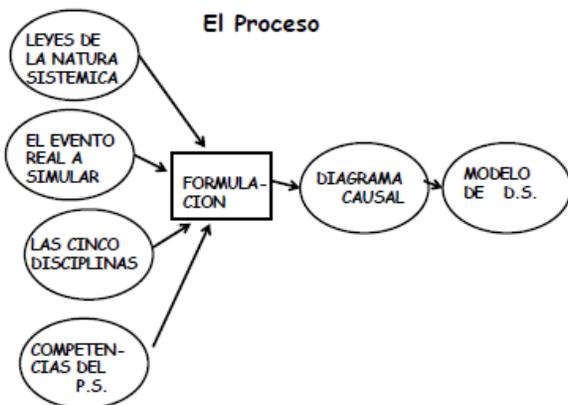
Todos los procesos de Simulación, como dice Pat Baseley, empiezan con una idea. Esa es la identificación de la realidad que pretendemos simular. Esa realidad existe dentro de una naturaleza que es sistémica. Es el modelo mental de lo que deseamos investigar.

Por eso conviene comprender las leyes que rigen esa naturaleza sistémica. Y la forma óptima de comprender esas leyes, es usando las Competencias del Pensador Sistémico y las Cinco Disciplinas.

Con la aplicación de éstas tres herramientas, seguro que el resultado será un Diagrama Causal que representa muy bien la realidad que pretendemos simular.

Ese buen Diagrama Causal, nos permitirá elaborar un Diagrama de Dinámica de Sistemas que se comportará en el tiempo, tal como lo hace la naturaleza. Aumentando considerablemente la realidad de los resultados de la simulación. Haciendo que ese modelo se comporte como la naturaleza que vivimos.

Por eso las bases del estudio tienen que ser muy fuertes, el estudioso de la simulación necesita de ellas, para que el resultado de ese estudio sea muy valioso. Ahora veamos un diagrama ilustrativo de dicha secuencia.



El contexto donde se ha concebido y desarrollado la experiencia pedagógica es muy amplio. El inicio es el equipo de investigación GEIO, (Grupo de la Enseñanza de Investigación de Operaciones), de la UTP, (Universidad Tecnológica de Pereira), donde se aprueban las propuestas iniciales, y se ponen a prueba,

se ensayan. Una vez cumplida ésta primera aproximación, se aplica en otros escenarios.

Los más recientes han sido: Universidad Nacional sede Manizales, Universidad del Sinú sede Cartagena y Universidad San Buenaventura sede Cali. En éste proceso se vive una competencia sistémica fundamental, "las aproximaciones sucesivas".

El primero en usar el término MICROMUNDO fue Seigmor Papert, pero fue adoptado y popularizado por Peter Senge. Son las contracciones de tiempo y espacio aprovechados para gestionar Pensamiento Sistémico.

Los resultados, a juzgar por las evaluaciones al final de los talleres, son muy buenos. Frases como la de la ingeniera Diana Cardona Jaramillo, de la corporación Universitaria Lasallista de Caldas, resumen los resultados: "Gracias por ponernos a pensar sistémicamente, cambiamos" La metodología usada es de doble dirección: varias veces se estudian las definiciones de las leyes, las competencias y las disciplinas, durante cada uno de los ejercicios que se VIVE en la clase. Puede ser primero estudiar el concepto y después vivirlo. O también puede ser vivir el concepto primero y luego estudiarlo.

Como dice Sweeney: "ese ejercicio lo convierte a usted en un vínculo causal negativo"

Dentro del conjunto de ejercicios hay actividades típicamente manuales, y de lectura y comprensión de historias de diversos orígenes. Al final de cada ejercicio viene la solución a cinco interrogantes: qué paso?, cuál competencia del pensador sistémico estuvo presente?, cuál ley de la naturaleza se evidenció?, cuál de las cinco disciplinas vivimos? y cómo será el diagrama causal? Con ésta experiencia, el estudioso del modelado logra tener mejores resultados, modelos más realistas, más representativos del escenario que quiere analizar.

Las conclusiones son evidentes, estas herramientas, éstos micromundos, ayudan mucho en la gestión de los conocimientos relacionados con el Enfoque Sistémico.

La siguiente tabla es un ejemplo de algunas disciplinas y leyes presentes en las seis actividades:

Disciplina	AE	MM.	VC	CO	VS	AS
Actividad						
Papel Roto		X	X			
Tubos Bal	X			X		X
Getco		X	X	X		
Semillas		X		X	X	
5 Piezas	X	X	X			
Cosecha					X	X

AE = Aprendizaje en Equipo

MM = Modelos Mentales

VC = Visión Compartida

CO = Conexidad

VS = Visión Sistémica

AS = Aproximaciones Sucesivas

## II. DESCRIPCIÓN RESUMIDA Y OBJETIVOS DE CADA MICROMUNDO

**A. PAPEL ROTO.** Cuando los interesados se unen en un grupo, en un equipo, frecuentemente descubren que tienen diferentes percepciones sobre lo que está pasando. Esto es especialmente cierto cuando el grupo se une para comprender e intervenir en un sistema complejo. CUANDO LAS PERSPECTIVAS DIVERGENTES SE TORNAN EVIDENTES, EXISTE UNA TENDENCIA A INCREMENTAR LA FRECUENCIA O EL VOLUMEN CON EL CUAL EXPRESAMOS NUESTROS PROPIOS PENSAMIENTOS. Intentamos tener empatía con el oyente, discernir lo que él está comprendiendo, y cuales podrán ser las fuentes de la incomprensión. Asumimos que si no hacemos un elocuente trabajo descriptivo de nuestros pensamientos, los que escuchan no cambiarán las imágenes de sus mentes. Este sencillo ejercicio muestra rápidamente el poco fundamento de esta suposición, aun cuando el auditorio comparta nuestras metas y tenga un fuerte incentivo para comprender su significado.

**B. TUBOS BALANCEANTES.** Uno de los fundamentos más importantes, para cualquier estudio de comportamiento sistémico, es el concepto de HORIZONTE DEL TIEMPO. Este es el intervalo de tiempo durante el cual el sistema manifiesta los modelos completos de comportamiento que nos interesan. O, descrito de otra forma, es la cantidad de tiempo que

necesitamos para ver la respuesta completa del sistema a la acción que queremos tomar. Un cambio en la estrategia de adquisición de capital para la empresa puede tener un horizonte de tiempo que abarca varios años, durante el cual el horizonte de tiempo para un cambio en la publicidad, puede ser de solo algunas semanas.

Es muy importante, para los miembros de un grupo, enfocarse explícitamente y acordar el horizonte de tiempo que caracterizará un estudio específico. Las fallas de comunicación, las incomprensiones, y hasta los conflictos entre los miembros del grupo, surgen cuando implícitamente han adoptado diferentes horizontes de tiempo para un evento. Retar los escenarios mentales sobre el tiempo es, sin duda, mucho más que un ejercicio intelectual. El ejercicio Balanceando Tubos, provee una experiencia física exquisitamente simple, a partir de la cual los participantes incrementan su comprensión y profundización de los horizontes de tiempo más apropiados.

**C. GETCO.** ¿Cuántas veces nos sucedo como a Getco, que nos enojamos por cosas que otros hacen, o nos sentimos frustrados por ciertos hechos cuando no comprendemos por qué ocurren? Al igual que Getco, también podemos descubrir que el origen de nuestros problemas se aclara, y hasta podría desaparecer, cuando cambiamos un enfoque centrado en proteger nuestra independencia, por otro centrado en comprender nuestra interdependencia.

El reverendo Martín Luther King Jr., activista del movimiento por los derechos civiles, llegó a una conclusión similar: "En realidad, todo se resume a esto: todo lo que vive está interrelacionado. Estamos todos inmersos en una red ineludible de reciprocidad, unidos en un mismo destino. Lo que afecta a uno directamente, nos afecta a todos indirectamente... No vamos a tener paz en la tierra hasta que no reconozcamos este hecho fundamental de la estructura interrelacionada de toda realidad".

**D. LAS SEMILLAS MAGICAS DE ANNO.** Actividad dedicada a comprender varios conceptos del pensamiento Sistémico: Ciclos de realimentación, límites no pensados del crecimiento, demoras, ciclos de crecimiento y caída, conservación de recursos y crecimiento exponencial. Podemos ilustrar con las palabras del filósofo chino Han Fei-Tzu, 500 años antes de Cristo refiriéndose al crecimiento de la población: "Actualmente la gente cree que cinco hijos no es mucho,

y cada hijo tiene otros cinco, de manera que antes de la muerte del abuelo, se cuenta con alrededor de 25 descendientes. Por eso la población es mayor y la salud disminuye, tienen que trabajar más y recibir menos”.

**E. CINCO PIEZAS FACILES.** Como lo podemos ver en nuestras vidas diarias, el modelo básico de vida es una red de sistemas interconectados. Por ejemplo, dentro de una comunidad, existen muchos conjuntos de sistemas interconectados: educación, negocios, servicios sociales, organizaciones religiosas, cuidado de la salud, etc. A menudo, aún bajo la presión del tiempo y de la vida diaria, nosotros actuamos como unidades aisladas, desconectadas. El físico y escritor Fritzjof Capra nos recuerda que el primer principio de la Ecología es la interdependencia. ¿Cómo podemos desarrollar el hábito de aguzar la mente, para aplicar este principio en nuestras vidas diarias?

Este ejercicio no es pretencioso, es ligeramente desarmante, e ideal para ilustrar la interdependencia, un conocimiento y una conciencia que son vitales para el desarrollo y practica del Pensamiento Sistémico.

**F. COSECHA.** Todos sabemos de dónde venimos pero no sabemos para dónde vamos “Proverbio Maasai.

¿Y que pasaría si los tres mosqueteros hubieran usado el eslogan siguiente: TODOS PARA UNO Y NINGUNO PARA TODOS? Sería que este hubiera inspirado igualmente a esos héroes para lograr las grandes y valerosas victorias de valor y trabajo en equipo, que sirvieron para proteger a la reina de ese demonio llamado Duque Leval? Seguramente que no.

Eso: “Todos para uno y ninguno para todos”, es exactamente lo que ocurre cuando una estructura sistémica se enfrenta con individuos que actúan para su propio beneficio, pero que no se motivan para ver el valor de las acciones coordinadas colectivamente. Las piscinas repletas de gente, la sobrepesca y los centros comerciales durante los festivos, son unos pocos ejemplos de este modelo de comportamiento. Verdaderamente, este modelo, éste patrón, es muy penetrante en muchas áreas de nuestras vidas, inclusive tiene un nombre: TRAGEDIA DEL TERRENO COMUN. Cuando se presenta una situación como ésta, la gente que está actuando por adelantado, genera el colapso en el ambiente que los acoge.

**COSECHA** es un medio visible y entretenido para explorar el arquetipo llamado Tragedia del Terreno Común. Este ejercicio también le ayuda a los participantes a explorar el fenómeno llamado “peor

antes que mejor”, una tendencia ampliamente observada en los sistemas complejos. En, “peor antes que mejor”, las acciones necesarias para producir soluciones fundamentales, a largo plazo, a menudo, hacen que a corto plazo, la situación parezca peor.

### III. EJEMPLOS DE RESULTADOS

Ahora un participante de los talleres comparte su experiencia con Ciclos Vivientes: “Este ejercicio es una forma muy efectiva de demostrar cómo funcionan, como trabajan los ciclos balanceantes y reforzantes. El movimiento y la ayuda para actuar ayudan mucho a solidificar, a concretar, algo que parece muy teórico y abstracto. Para mí, particularmente efectiva fue la experiencia sobre el ciclo reforzante, sintiendo la urgencia de ir arriba, subir, subir, subir, para finalmente entender que en cierto momento, en algún punto, se llegará a un límite.

Joe Laver de Seed Systems, comparte la siguiente experiencia al usar Ciclos Vivientes para discutir temas relacionados con sostenibilidad, con un gran grupo de directivos de corporaciones: “Ciclos Vivientes funciona divinamente para la introducción de los conceptos de relaciones sistémicas, y para ayudar a la gente a que literalmente SE APROPIE de esos conceptos en sus mentes. He encontrado que es una herramienta rápida y sencilla para aumentar la comprensión sobre cómo funcionan los sistemas, que la calidad de un sistema depende de la calidad de las relaciones dentro de ese sistema, y que el comportamiento de un elemento interno del sistema puede alterar todo el resultado de ese sistema, o que una persona puede generar una diferencia, aún en el sistema más complejo”.

### IV. CONCLUSIONES.

1. Luego de gestionar conocimiento con éstos micro mundos se comprende la máxima: “Senge ATERRIZO a Forrester”.
2. Quien aplica Las Cinco Disciplinas, la Competencias del Pensador Sistémico y La Leyes de la Naturaleza Sistémica, produce mejores modelos de Dinámica de Sistemas y obtiene mejores resultados.
3. Son más convincentes las teorías SOFT de Checkland y de Maani.
4. Los micromundos de Sweeney y Meadows son medios extraordinarios de gestión de conocimiento.
5. El enfoque Sistémico gestionado con estos micromundos brinda una gran oportunidad de definición de identidad.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los estudiantes de la Universidad Nacional sede Manizales, de Uni Sinu sede Cartagena, de Univalle sede Buga, de la U. San Buenaventura sede Cali y de GEIO Pereira, quienes participaron irrestrictamente en los ensayos de éstos ejercicios. .



## 35. MODELAMIENTO DEL APROVECHAMIENTO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE NEUMÁTICOS USADOS.

**LAURA NATHALY ZAMORA SÁNCHEZ, AURA PAOLA MORENO MONSALVE, JOHAN MANUEL REDONDO**

Escuela Colombiana de Carreras Industriales - Colombia  
lafenty94@gmail.com, aurapaolamoreno@gmail.com, galileonp@hotmail.com

### RESUMEN

La demanda de vehículos actual ha permitido el crecimiento exponencial de los neumáticos usados, lo que genera problemáticas ambientales, que se representan en acumulaciones en espacios abiertos, quemas y mala disposición en rellenos sanitarios. Con respecto a esto es necesario conocer cómo funciona esta gestión y que alternativas de uso se tienen, como el reencauche y el aprovechamiento de materias primas derivadas del neumático en otros mercados. En este artículo se construyó un modelo que asocia todos los aspectos de un sistema en gestión integral de neumáticos usados en la ciudad de Bogotá D.C. que nos permite simular posibles escenarios donde podemos observar las variables en el tema de gestión, cantidad, y aprovechamiento.

**PALABRAS CLAVE:** Modelamiento, Neumáticos usados, Sistema de gestión integral y reencauche.

### I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mercado de neumáticos<sup>7</sup> cuenta con una importante demanda, derivada del incremento en la demanda de vehículos, que a su vez es el efecto del incremento poblacional ciudadano (Unión Temporal OCADE LTDA, 2000).

En la capital colombiana, donde el parque automotor se encuentra en constante aumento, se estimó que el censo vehicular en el año 2000 era de 1'000.000 de vehículos, de los cuales aproximadamente el 91% correspondía al transporte particular y el 9% al transporte público (Unión Temporal OCADE LTDA, 2000), dándonos así un aproximado de 4'000.000 de neumáticos en rodamiento por las calles de la ciudad.

Como la mayoría de productos, los neumáticos también cuentan con una vida útil, que para el caso, se ha estimado en 5 años como valor promedio (Boletín técnico Michelin, 2014). Cuando esta vida útil llega a su

fin los neumáticos usados se convierten en residuos (Resolución 6981 de 2011, artículo 2°).

Frente al aumento de los neumáticos usados, la falta de conocimiento de los sistemas de gestión para una correcta disposición de los neumáticos usados por parte de los consumidores, proveedores y distribuidores, genera conflictos estéticos, sanitarios y ambientales. Desde la perspectiva estética, se debe mencionar la disposición inadecuada de los neumáticos al aire libre en calles, avenidas y parques, lo que afecta el paisaje. Desde la perspectiva sanitaria, el espacio de refugio y /o la acumulación de aguas estancadas al interior de los neumáticos se convierte en una causa de la proliferación de diferentes vectores nocivos para la salud de diferentes poblaciones en la ciudad. Finalmente, desde la perspectiva ambiental, las quemas de neumáticos para extraer su poder calorífico, provoca la emisión de importantes cantidades de COx que contribuyen al calentamiento global.

<sup>7</sup> En Colombia es común usar el término llanta para lo que se denomina un neumático. Por definición, llanta es la parte metálica de la de rueda, sobre la que se monta el neumático (RAE 22. <sup>a</sup> Edición, versión electrónica) que se usa para dar conexión con la transición del vehículo, la cual, usualmente

llamamos "rin" y el neumático es la parte hecha de caucho que se monta sobre la llanta de una rueda (RAE 22. <sup>a</sup> Edición, versión electrónica)

Acerca de la composición de los neumáticos, éstos están compuestos por fibra textil, acero, cauchos y químicos (Castro, 2008), lo que hace que se consideren como un residuo aprovechable en diferentes procesos.

En la gestión ambiental en general, para Bogotá D.C., es muy importante que se cumpla con el conjunto de normas y planes que se han indicado, entre esto los principales actores son los proveedores quienes, al hacer el mantenimiento del parque automotor deben contar con un programa de gestión ambiental y recolección selectiva, que permita reunir los neumáticos usados, y llevar a un conjunto de actividades que tienen como objetivo direccionar, para que de manera ordenada y progresiva se lleve a cabo un control continuo para mitigar el impacto. A esto se denomina, sistema de gestión integral (SGI). Bogotá cuenta con una guía de para el manejo de llantas usadas (2006) en la cual se menciona el manejo adecuado que se debe tener con los neumáticos.

La resolución 1457 de 2010, establece los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan disposiciones para establecer la obligación de formular, presentar e implementar los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas (Resolución 1457, 2010).

Actualmente, cuando los proveedores y distribuidores se sujetan a esta resolución, se da un buen manejo a los neumáticos usados, retirándolos de los vehículos, almacenándolos en centros de tratamiento y aprovechamiento, y permitiendo la reincorporación de los neumáticos a la vida productiva.

En Bogotá existen tres procesos de aprovechamiento final del residuo (Resolución 6981 de 2011). El primero se denomina reencauche, el cual consiste en renovar las bandas de rodamiento de los neumáticos que sean aptos, según evaluación realizada, para reincorporarlos al proceso de producción. El segundo está orientado al uso energético como combustible de calderas en la industria de las cementeras. Finalmente, en el tercero, los neumáticos evaluados que no cumplen con los requisitos para ser renovados, son aprovechados en otros mercados mediante el uso del neumático como materia prima para la fabricación de diferentes artículos (Cámara y comercio de Bogotá D.C, Departamento técnico administrativo del medio ambiente, 2006).

En este documento nos enfocaremos en el aprovechamiento por reencauche, que por lo general se

aplica a neumáticos de tamaño mediano para buses o camiones en Colombia (Cámara y comercio de Bogotá D.C, Departamento técnico administrativo del medio ambiente, 2006).

En el diagnóstico ambiental sobre el manejo de neumáticos en Bogotá D.C, realizado en 2000, se determinó que el 17.2% de neumáticos usados son reencauchados (Unión Temporal OCADE LTDA, 2000).

La Secretaría Distrital de Ambiente de la ciudad de Bogotá D.C., por medio del programa posconsumo de neumáticos denominado "Llantas usadas en el lugar indicado", informa a la comunidad en general, pero sobre todo a los productores y distribuidores de neumáticos, sobre la forma como puede vincularse al programa de manejo de neumáticos usados, cumpliendo con lo estipulado en la resolución 1457 de 2010. El proceso informativo incluye la presentación de los 92 puntos autorizados de recolección de neumáticos usados que, en su mayoría, son almacenes distribuidores de neumáticos y empresas reencauchadoras (Ministerio de ambiente, 2014).

También existe otro programa posconsumo de neumáticos usados llamado "llantas verdes" el cual cuenta con acompañamiento de la Asociación Nacional de Empresarios Nacionales –ANDI- y también cumple con la normatividad vigente. Este programa cuenta con un esquema de recepción y acopio que incluye más de 100 puntos en Bogotá. A través de este programa, las empresas vinculadas al programa "llantas usadas en el lugar indicado" como puntos de recepción y los cuales no cuentan con instalaciones para realizar un tratamiento de estos neumáticos usados, se contactan con los puntos autorizados y ellos serán quienes se encarguen del tratamiento de dichos neumáticos.

Por otra parte, la ANDI, mediante un comunicado emitido por la gerencia de comunicaciones y relaciones públicas a principios del año 2014 frente al programa "rueda verde", aclara que ellos no se encuentran en la obligación legal de realizar la recolección de neumáticos usados en espacios públicos, sin embargo, adelantan jornadas de recolección con el acompañamiento de autoridades distritales, a la manera de un programa voluntario (Sala de prensa ANDI, 2014).

Con la idea de conocer la implementación del reencauche en Bogotá y proponer una primera representación de un sistema de gestión integral de los neumáticos usados, se propone en este artículo el

modelamiento matemático del aprovechamiento de un sistema de gestión integral de los neumáticos usados.

## II. METODOLOGÍA

La Dinámica de Sistemas fue desarrollada inicialmente con el fin de ayudar a las empresas a comprender los procesos de producción, esto, por medio la interacción entre el marketing, la distribución, la economía y la misma producción en sí, a través de un modelo donde la predicción de posibles acontecimientos dentro del proceso, permitió a las empresas tomar decisiones para su crecimiento en el mercado y desarrollo a nivel industrial basados en una visión cualitativa (Industrial Dynamics, Jay Forrester, 1961).

Este es un método que nos permite el uso de variables y relaciones (lineales y no lineales) para la representación de situaciones complejas, en este caso, el aprovechamiento de un sistema de gestión integral de neumáticos usados, donde la relación entre la industria y la población consumidora nos permite el planteamiento de un modelo para la simulación de diferentes escenarios de un posconsumo de neumáticos desde la gestión integral.

Desde el punto de vista ambiental, la Dinámica de Sistemas ha dado lugar a un análisis enfocado de manera interna a los procesos donde se recalca la

sostenibilidad e impacto generado por el mismo, con la finalidad de mejorar la cadena de suministro en sus diferentes variables (Modelamiento de Aspectos Ambientales en la Cadena de Suministro de Bioetanol, Danny W. Ibarra, 2013). La gestión integral de los residuos generados en diferentes procesos industriales, comerciales y domésticos, observados de manera experimental gracias a la dinámica de sistemas nos ha brindado una visión de cómo la sociedad, la educación y la conciencia ambiental hacen parte de estos sistemas (Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, 2012). Por lo cual en este artículo, se hace uso de esta disciplina para visualizar el aprovechamiento que se puede obtener de un sistema de gestión integral de neumáticos usados, a través de simulaciones en el comportamiento de este sistema bajo diferentes condiciones que se propondrán.

## III. IMPLEMENTACIÓN

En la Figura (1), a través de un flujograma, presentamos el sistema integral de gestión de neumáticos para Bogotá D.C. En este se encuentra representado las etapas de la cadena de gestión de los neumáticos usados, enfatizando los puntos en los cuales nos vamos a basar específicamente para la construcción del modelo y adicional relacionamos algunos aspectos ambientales que se encuentran en el Sistema.

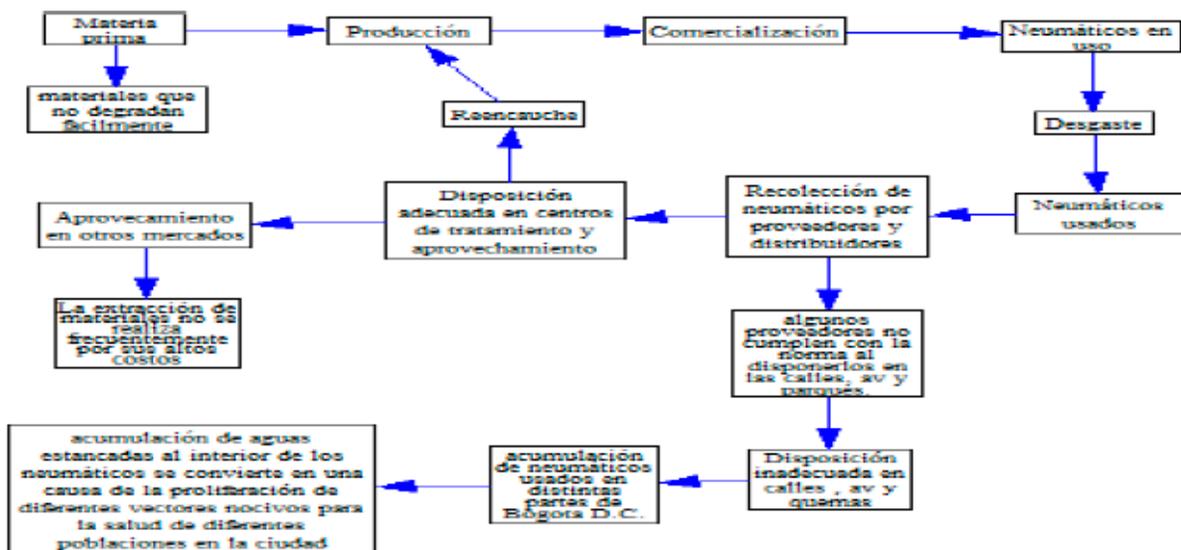


Figura (1). Flujograma de la herramienta propuesta para el desarrollo automático de modelos basados en Neumáticos usados.

Para la comprensión del sistema de gestión integral de neumáticos usados planteado en el flujograma, se realizó la construcción de un modelo causal que nos permiten tener una visión sistemática que conduzca a la comprensión del funcionamiento y comportamiento de la generación de neumáticos usados en Bogotá D.C., en donde se tiene en cuenta la explotación de los recursos naturales para la obtención de las materias primas que son puestas en planta para la producción de los neumáticos, los cuales serán usados por los consumidores.

En el Diagrama causal representado en la Figura (2) se puede observar como desde el uso de materias primas, las cuales provienen de la explotación de diferentes recursos naturales, se presenta un incremento en la puesta en planta para la producción de neumáticos, lo que a su vez aumenta los neumáticos en uso, y al aumentar su desgaste se producen más neumáticos usados, es en este momento donde el sistema de gestión integral de neumáticos usados se integra al bucle, al aumentar la entrega y recolección de neumáticos usados, aumenta la recolección por parte de los proveedores y distribuidores y a su vez el traslado

de los neumáticos, ocasionando que el número de neumáticos en los centros de tratamiento y aprovechamiento aumente, lo que incrementa el reencauche de los neumáticos para que así se reincorporen a el bucle.

Por este motivo se ve la necesidad de concientizar a los proveedores y distribuidores para que hagan el debido proceso de valoración de los neumáticos y así llevar el mayor número posible a centros de tratamiento y aprovechamiento, para que sean usados ya sea en extracción de materiales para reincorporarlo en otros procesos, o en el proceso de reencauche para minimizar los costos y brindar más beneficios a los consumidores y al medio ambiente.

Así mismo, si los proveedores y distribuidores hacen la debida recolección de los neumáticos usados, los valoran e indican que se pueden reutilizar, va a haber más traslado de neumáticos usados a centros de tratamiento y/o aprovechamiento, generando más reencauche con los neumáticos usados aptos para el proceso, aumentando la productividad de neumáticos y a su vez, disminuyendo el impacto ambiental.

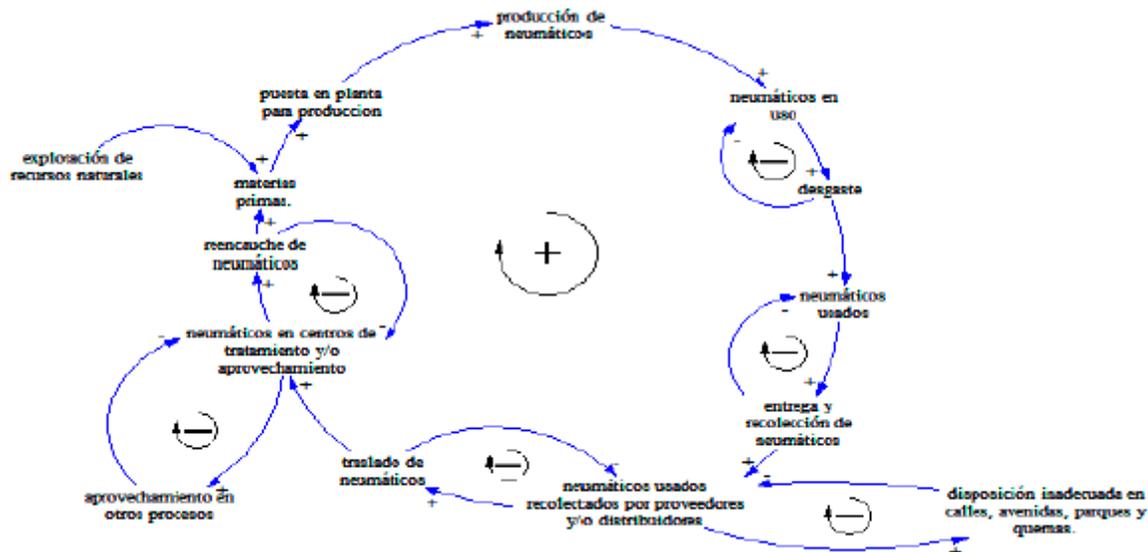


Figura (2). Diagrama causal del aprovechamiento de un sistema de gestión integral de neumáticos usados.

A partir del conocimiento del funcionamiento del diagrama causal se planteó un diagrama de niveles y flujos Figura (3). Para, de manera más detallada, especificar cada variable de estado con sus razones de cambio y en el caso que sea necesario, las variables auxiliares o parámetros que contribuyan en algún punto

al cambio en el comportamiento del sistema. Posteriormente definiremos cada uno de los ítems para tener una idea más clara del modelo:

**Variables de estado:**

*Neumáticos en uso:* Estos dependen de la producción de neumáticos menos el desgaste que se produce.

*Neumáticos usados:* Este reúne los neumáticos desgastados, restándole la entrega y la recolección de los neumáticos por sus proveedores.

*Neumáticos usados recolectados por proveedores y/o distribuidores:* Estos son los que se han recolectado por los distribuidores y proveedores, identificando los neumáticos que son dispuestos inadecuadamente, y los que se trasladan para centros de aprovechamiento.

*Neumáticos en centros de tratamiento y/o aprovechamiento:* Este depende de los neumáticos que han sido trasladados, para una valoración e identificar si se pueden reencauchar o usar en otros procesos.

*Materias primas:* Conjunto de materiales que se obtiene por la explotación de los recursos naturales, que se puede cambiar si se implementa el reencauche para la puesta en planta de la producción fabricación de los neumáticos.

**Razones de cambio:**

*Producción:* Este factor depende de la puesta en marcha de la producción.

*Desgaste:* Factor que depende de la vida útil y el modo de uso por parte del consumidor.

*Entrega y recolección de neumáticos:* Proceso realizado por los proveedores y distribuidores en el momento en que sus consumidores solicitan el cambio de neumáticos de usados a nuevos.

*Disposición inadecuada en calle, avenidas, parques y quemas:* Son los neumáticos restantes que no son recolectados y trasladados por los distribuidores y proveedores.

*Traslado de neumáticos:* Proceso mediante el cual desde los puntos de recolección se movilizan los neumáticos usados a los centros de tratamiento y/o aprovechamiento para usarlos en distintos procesos.

*Aprovechamiento en otros procesos:* Aquellos neumáticos que no son usados para reencauche, y son dispuestos para uso en otros mercados.

*Reencauche de neumáticos:* Depende de los neumáticos que fueron trasladados y valorados en los centros de tratamiento y aprovechamiento.

*Explotación de los recursos naturales:* Este ítem depende de la demanda de los neumáticos, menos el reencauche de neumáticos.

*Puesta en planta para producción:* Este varía según el retardo que lleve la explotación de los recursos naturales y el retardo del proceso de reencauche.

**Variables auxiliares**

*Vida útil del neumático:* Duración de un neumático en uso, factor de la cantidad de neumáticos usados.

*Tasa de traslado:* Porcentaje de neumáticos clasificados que van a los centros de aprovechamiento.

*Tasa de reencauche:* Porcentaje de reencauche de neumáticos usados y punto de consideración para la perturbación del sistema.

*Educación para el manejo de neumáticos usados:* Esta nos ayuda a identificar cuantos neumáticos se están recuperando.

*Tasa de recuperación:* Depende de la educación que se está dando para la recuperación de neumáticos, y los neumáticos usados que se recolectan en Bogotá D.C.  
*Tiempo de reencauche:* Tiempo que tarda el proceso de reencauche para cumplir con la producción.

*Tiempo de puesta en punto de materias primas:* Tiempo que tardan las materias primas en estar listas para ser tratadas.

*Retardo de explotación:* Depende del tiempo del reencauche y del tiempo de puesta en punto de materias primas.

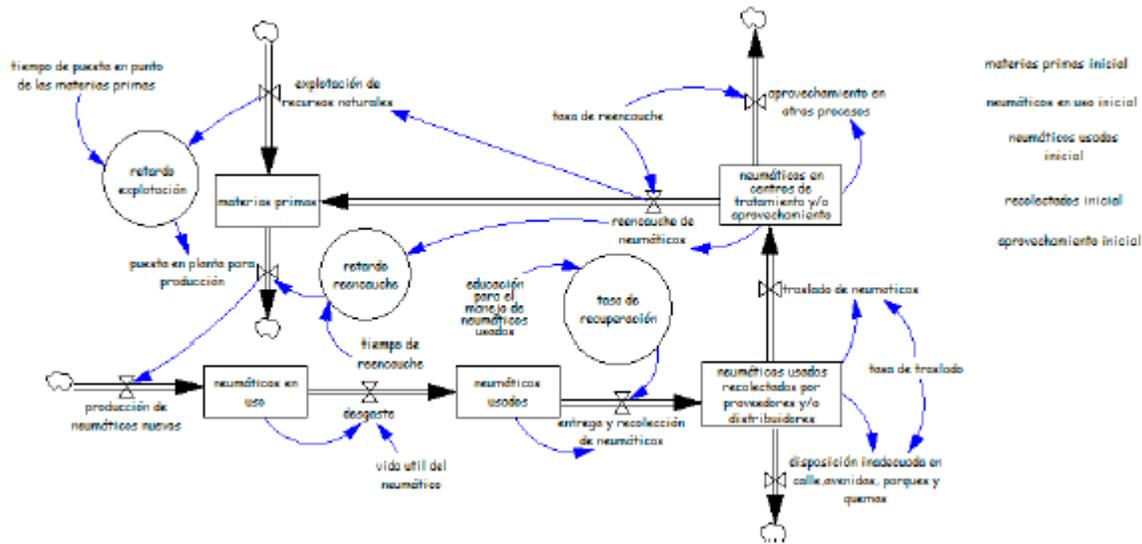


Figura (3). Diagrama de niveles y flujos del modelo propuesto.

Las ecuaciones utilizadas en el Diagrama de niveles y flujos de la Figura (3), son presentadas en la Tabla (1).

Tabla (1). Ecuaciones.

Denominación	Ecuación
Materias Primas (MP)	$\frac{dMP}{dt} = (\text{explotación de recursos naturales} + \text{recauchado de neumáticos} - \text{recauchado de neumáticos})$
Producción de Neumáticos (PN)	$\frac{dPN}{dt} = \text{puesta en planta para producción}$
Neumáticos en uso (NEU)	$\frac{dNEU}{dt} = (\text{producción de neumáticos} - \text{desgaste})$
Desgaste (D)	$\frac{dD}{dt} = (\text{neumáticos en uso} / \text{vida útil del neumático})$
Neumáticos usados (UN)	$\frac{dNU}{dt} = (\text{desgaste} - \text{entrega y recolección de neumáticos})$
Entrega y recolección de neumáticos (ERN)	$\frac{dERN}{dt} = (\text{tasa de recuperación por proveedores} + \text{tasa de recuperación por distribuidores}) * \text{neumáticos usados}$
Neumáticos usados recolectados por proveedores y/o distribuidores (NRPD)	$\frac{dNRPD}{dt} = (\text{entrega y recolección de neumáticos})$

Denominación	Ecuación
traslado de neumáticos (TN)	– traslado de neumáticos) $\frac{dT_N}{dt}$ = (tasa de traslado * "neumáticos usados recolectados por proveedores y /o distribuidores") – "disposición inadecuada en calle, avenidas, parques y quemas"
Neumáticos en centros de tratamiento y/o aprovechamiento (NTC)	$\frac{dN_{CT}}{dt}$ = (traslado de neumáticos – aprovechamiento en otros procesos – reencauche de neumáticos)
Aprovechamiento en otros procesos (AP)	$\frac{dAP}{dt} = ((1 - \text{tasa de reencauche})$ * "neumáticos en centros de tratamiento y /o aprovechamiento")
Reencauche de neumáticos (RN)	$\frac{dRN}{dt} = (\text{tasa de reencauche}$ * "neumáticos en centros de tratamiento y /o aprovechamiento")
Disposición inadecuada en calle, avenidas, parques y quemas (DI)	$\frac{dDI}{dt}$ = ((1 tasa de traslado) – * "neumáticos usados recolectados por proveedores y /o distribuidores")
Explotación de recursos naturales (ERN)	$\frac{dERN}{dt} = (2500 - \text{reencauche de neumáticos})$
Puesta en planta para la producción (PPP)	$\frac{dPPP}{dt} = (\text{retardo explotación} + \text{retardo reencauche})$

Calibración del modelo: Para este modelo realizamos la calibración de las cantidades y porcentajes, que a través de la revisión bibliográfica pudimos obtener, con el fin de observar el comportamiento en cada una de las simulaciones para los escenarios que a continuación propondremos y así poder visualizar la dinámica que posiblemente se pueda presentar en el sistema propuesto para este primer modelo con los valores calibrados, los cuales, se encuentran sujetos a discusión.

### III. SIMULACIONES Y DISCUSIONES

En la simulación del modelo planteado para el aprovechamiento de un sistema de gestión integral de neumáticos usados, a través del software Vensim Ple, el tiempo es tomado en meses para una proyección en el comportamiento del sistema a 20 meses, tomando a consideración las variables de estado: neumáticos en uso, neumáticos usados, neumáticos usados recolectados por proveedores y/o distribuidores y neumáticos en centros de tratamiento y/o aprovechamiento

Tabla (2). Condiciones iniciales con las cantidades propuestas para tipo de condición.

Condiciones iniciales	Cantidad		
	Condición crítica	Condición de alerta	Condición deseado
Neumáticos en uso	200000	130000	150000
Neumáticos usados	4000	2270	3080
Neumáticos recolectados	136	500	746
Neumáticos aprovechados	69	200	607

Tabla (3). Parámetros con los respectivos porcentajes en cada condición.

Parámetros	Porcentaje		
	Condición crítica	Condición de alerta	Condición deseado
Educación para el manejo de los neumáticos usados	2%	10%	90%
Tasa de reencauche	4%	10%	90%
Tasa de traslado	4%	10%	100%
Vida útil del neumático	100%	100%	100%
Tiempo de reencauche	80%	100%	100%
Tiempo de puesta en punto de las materias primas	100%	100%	100%

En la Tabla (2) se encuentran las condiciones iniciales con las cantidades propuestas que se usaron para cada condición y en la Tabla (3) se encuentran los parámetros con sus respectivos porcentajes proporcionados para la simulación de cada condición.

#### Condición crítica:

Para esta condición propuesta, las condiciones iniciales de las variables de estado: neumáticos en uso y neumáticos usados se proyectaran en las cantidades límites para este sistema y para los neumáticos recolectados y el aprovechamiento de neumáticos, sus cantidades serán casi nulas, con un comportamiento de los parámetros: educación para el manejo de los neumáticos usados, la tasa de reencauche y la tasa de traslado en porcentajes insignificantes frente a las condiciones iniciales, en cuanto a la vida útil, el tiempo de reencauche y el tiempo de puesta en punto de las materias primas, van a mantener el tiempo adecuado para cada una de estas variables.

En la Figura (4) se puede observar como los neumáticos en uso disminuyen mes a mes, indicando que para la condición inicial propuesta de esta variable de estado, al encontrarse en el límite propuesto va a tender a disminuir, lo que en un algún momento del tiempo puede que ocasione la caída del sistema, el caso de los neumáticos usados, en los primeros 6 meses observamos un crecimiento exponencial y del séptimo mes en adelante comienza a decaer de manera regular, con una tendencia a buscar un equilibrio con respecto a los neumáticos en uso, para los neumáticos recolectados por proveedores y/o distribuidores, al igual que los neumáticos usados, presenta un crecimiento los 6 primeros meses y del séptimo en adelante tiende a mantenerse estable hasta el décimo mes, de ahí en adelante empieza a disminuir de manera regular, los neumáticos en centros de tratamiento y/o aprovechamiento, en su primer mes presenta una caída, para luego crecer de manera exponencial hasta el sexto mes, de este punto hasta el octavo mes, crece de manera regular, a mediados del octavo mes y hasta

finales del doceavo mes se mantiene estable y desde el treceavo mes en adelante se empieza a observar una caída de manera regular.

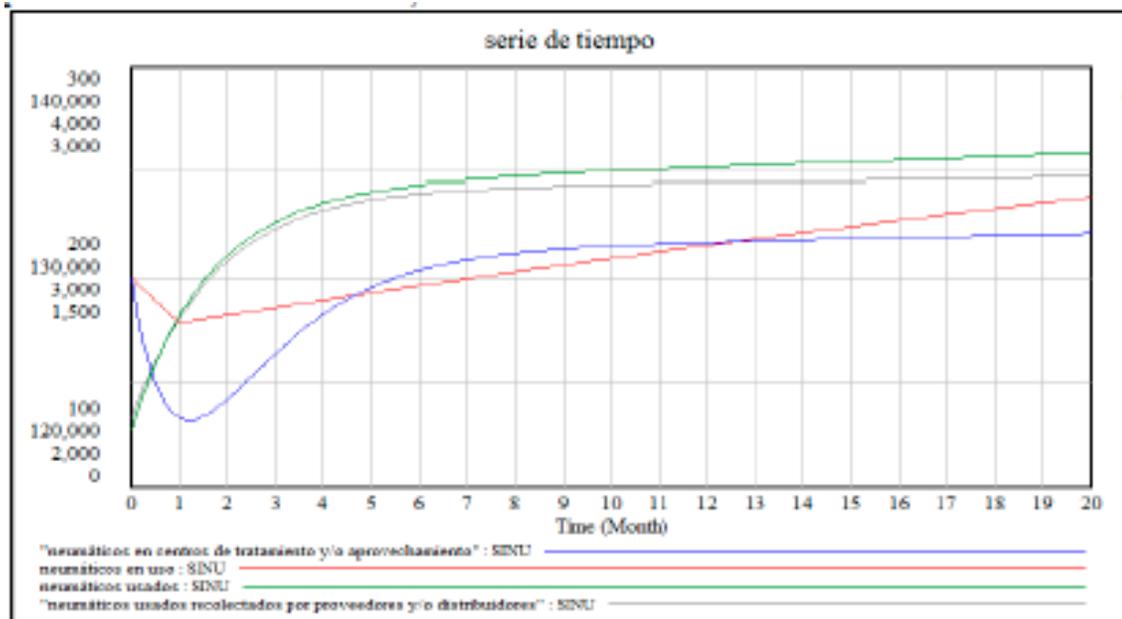


Figura (4). Grafica de la simulación para la condición crítica.

#### Condición de alerta:

Para esta condición propuesta, las condiciones iniciales de las variables de estado: neumáticos en uso y neumáticos usados se proyectaran en altas cantidades, y para los neumáticos recolectados y el aprovechamiento de neumáticos, sus cantidades serán bajas con respecto a las anteriores, evaluando su comportamiento frente al planteamiento de los parámetros: educación para el manejo de los neumáticos usados, la tasa de reencauche y la tasa de traslado en porcentajes bajos, mientras que, para la vida útil, el tiempo de reencauche y el tiempo de puesta en punto de las materias primas, van a mantener el tiempo óptimo de cada una.

En la Figura 5 se puede observar como los neumáticos en uso aumentan mes a mes, indicando que para la condición inicial propuesta de esta variable de estado,

siempre va a mostrar un crecimiento mensual de manera regular, en el caso de los neumáticos usados, en los primeros 5 meses observamos un crecimiento exponencial y del sexto mes en adelante este crecimiento se da de manera regular, pero siempre tendiendo a aumentar, para los neumáticos recolectados por proveedores y/o distribuidores, al igual que los neumáticos usados, presenta un crecimiento los cinco primeros meses pero del sexto en adelante, este crecimiento comienza a tornarse más lento y muy posiblemente en algún momento en el tiempo se va a mantener constante, por último, los neumáticos en centros de tratamiento y/o aprovechamiento, del primer mes al séptimo mes presenta un crecimiento exponencial y de ahí en adelante, este crecimiento empieza a ser regular y muy posiblemente en algún momento del tiempo este será estable.

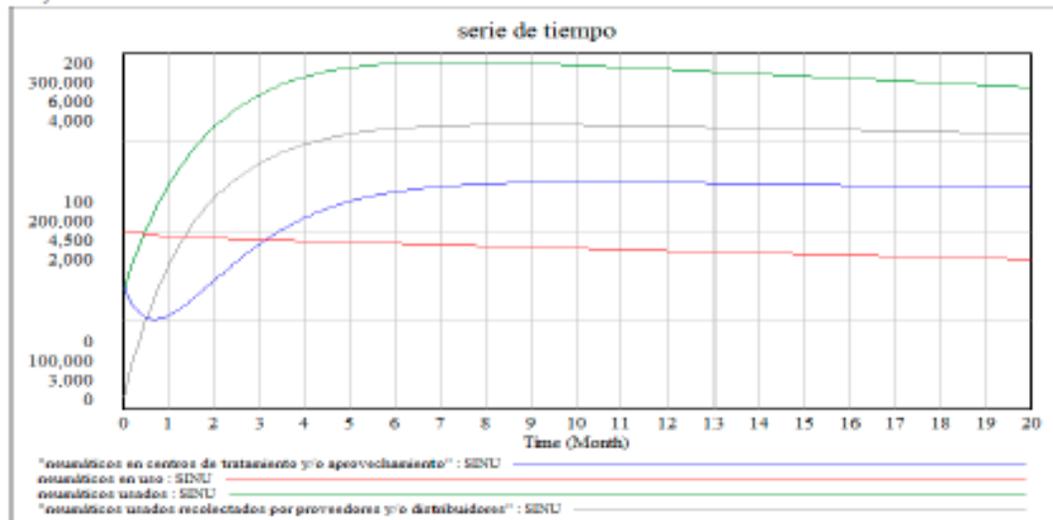


Figura (5). Grafica de la simulación para la condición de alerta.

#### Condición deseada:

Para esta condición propuesta, las condiciones iniciales de las variables de estado: neumáticos en uso y neumáticos usados se proyectaran en cantidades altas dentro del concepto de una condición donde la cantidad de neumáticos en uso puede aumentar de manera regular, al igual que los neumáticos usados, y para los neumáticos recolectados y el aprovechamiento de neumáticos, sus cantidades serán altas cumpliendo con las condiciones que el sistema de gestión integral de neumáticos usados propone, con respecto al planteamiento de los parámetros: educación para el manejo de los neumáticos usados, la tasa de reencauche y la tasa de traslado en porcentajes óptimos, mientras que para la vida útil, el tiempo de reencauche y el tiempo de puesta en punto de las materias primas, van a mantener el tiempo adecuado para cada una. En la Figura 6 se puede observar como

los neumáticos en uso presentan un crecimiento regular mes a mes, indicando que para la condición inicial propuesta de esta variable de estado, siempre va a mostrar un crecimiento no muy alto, pero adecuado para que el sistema mantenga su funcionamiento, en el caso de los neumáticos usados, en los primeros 3 meses observamos una disminución bastante alta y del cuarto mes en adelante tiende a mantenerse estable, mientras que los neumáticos recolectados por proveedores y/o distribuidores, presenta un crecimiento el primer mes pero del segundo hasta el cuarto esta variable comienza a caer de manera regular y mediados de este mes en adelante, se mantiene estable, y para los neumáticos en centros de tratamiento y/o aprovechamiento, del primer mes al cuarto mes presenta un crecimiento exponencial y de ese momento en adelante, comienza a converger al mismo punto que los neumáticos recolectados por proveedores y/o distribuidores y a mantenerse estable.

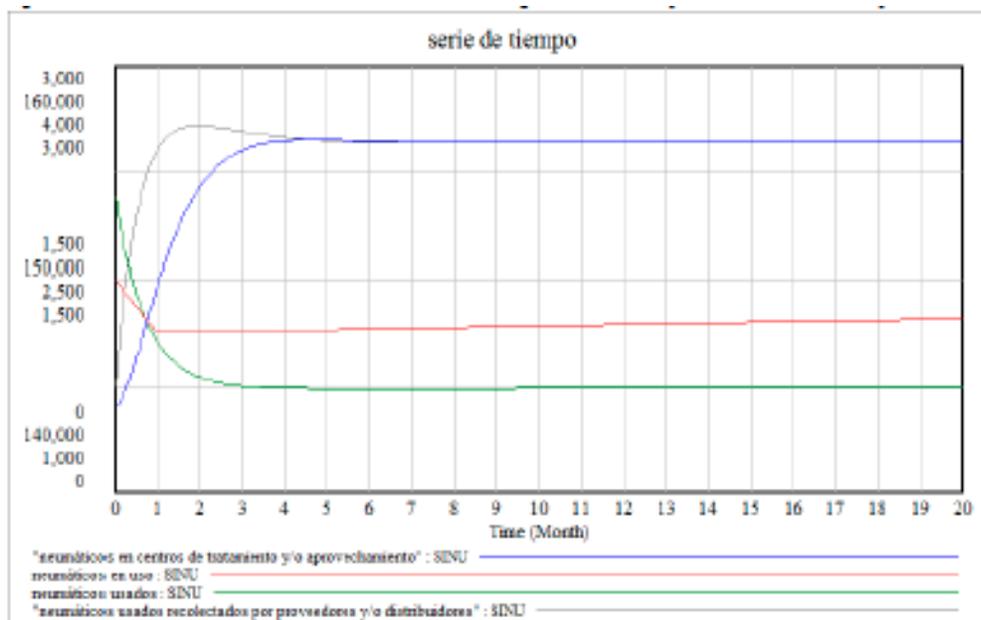


Figura (6). Grafica de la simulación para la condición deseada

Observamos que para cada condición las cantidades y los porcentajes fueron variando, algunos disminuyeron, mientras que otros aumentaron, permitiendo un punto de vista donde se expone una condición en que la actividad de recolección y aprovechamiento es casi nula, y no se presenta mayor interacción, hasta una condición, en donde el aprovechamiento a través de una recolección de los neumáticos usados, teniendo una condición intermedia, donde las cantidades y porcentajes no son tan altos, pero tampoco tan bajos y al mismo tiempo, empieza a efectuarse una interacción en el traslado y aprovechamiento, lo que nos puede brindar una idea de cómo el aprovechamiento de un sistema de gestión integral de neumáticos puede generar cambios de manera regular siempre y cuando exista la interacción para que en un punto, las cantidades sean regulares y los porcentajes sean altos con el fin de mantener el aprovechamiento, en este caso la condición deseada.

#### IV. CONCLUSIONES

En el constate aumento del comercio por la innovación de productos que llegan al mercado, se genera un consumo, donde la prioridad es mantener al consumidor satisfecho, pero se olvida, en la mayoría de casos como el posconsumo de estos productos afecta a el medio ambiente, lo que conlleva a una problemática y con esta, la implementación un sistema de gestión integral, siendo solo en ese momento en el que piensa en las

consecuencias de un posconsumo inadecuado. Si cada empresario innovador, le diera un plus a su producto y en sí, a su empresa, donde junto con el lanzamiento y distribución de dicho producto, se implementara un sistema de gestión integral, que no solo favorecería al medio ambiente y también a los consumidores, haciéndoles saber que pueden hacer uso de la empresa como una alternativa de disposiciones del residuo, y de este modo, la empresa que en su producto encuentre el modo de aprovecharlo cuando este ya sea un residuo para re incorporarlo a su producción, o simplemente realizar el tratamiento adecuado, se podrían beneficiar económicamente en el uso materias primas y ganar un plus comercial ayudando al medio ambiente.

Para el sistema de gestión integral de neumáticos usados planteado en este artículo se puede concluir que, del uso de los neumáticos en el parque automotor de Bogotá D.C. en la mayoría de ocasiones, se va a generar un alto número de neumáticos usados, por el desgaste y en sí, la vida útil. Al momento de aprovechar e implementar un sistema de gestión integral de neumáticos usados, es desconocido que se puede controlar y mantener en unos parámetros adecuados, donde el proveedor y/o distribuidor puede retornar los neumáticos usados por medio del reencauche, a su producción o a través de los programas de posconsumo, darles más alternativas de tratamiento a este residuo, el cual es 100% aprovechable.

También se puede concluir que, por medio de los programas de posconsumo, la educación de los distribuidores, proveedores y consumidores puede contribuir a que el aprovechamiento del sistema de gestión integral de neumáticos usados, sea más efectivo.

El modelo matemático implementado presenta la propuesta sobre el manejo de neumáticos usados que se está dando actualmente en Bogotá D. C. siendo una base aprovechable para un modelo más profundo de un sistema de gestión integral mejor puesto en marcha, y con un estudio más a fondo que no solo nos brinde los beneficios del aprovechamiento del sistema de gestión integral de neumáticos usados, sino que también nos brinde posibles condiciones para la mejora de la gestión actual.

## V. REFERENCIAS

- [1] Aracil, J (1995). Dinamica de sistemas, © Isdefe c/ Edison, 4 28006, Madrid pp 10-17.
- [2] Cala Vitery, F. (2014). Memorias XII Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. El Reto de Abordar Problemáticas, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá D. C, p 778.
- [3] Pérez, (2013). Tratamiento neumáticos usados, TNU Reciclar para ser sostenible, España, p 90.
- [4] Shakya, P. S. (2008). Studies on potential emission of hazardous gases due to uncontrolled open-air burning of waste vehicle tyres and their possible impacts on the environment. Atmos. Environ 42
- [5] Gerencia de comunicaciones y relaciones públicas ANDI, (2014). Rueda Verde aclara que no tiene la obligación legal de recoger llantas en el espacio público. Bogotá D.C.
- [6] Industrias michelin, S. D. (2012). Vida útil de las llantas, BOLETIN TECNICO MICHELIN®. México D.F.
- [7] Sión, (2012). El reencauche la mejor opción del transportista pesado. País Productivo revista del ministerio de industrias y productividad, 4-5. [8] Castro, (2008). Materiales y compuestos para la industria del neumático. Universitario. Disponible en: [http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material\\_Complementario/Materiales\\_y\\_Compuestos\\_para\\_la\\_Industria\\_del\\_Neumatico.pdf](http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf).
- [9] Departamento técnico administrativo del medio ambiente, (2006). Guía para el manejo de llantas usadas. Bogotá D.C. Disponible en: [http://www.ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=ab80a611-f997-4864-bd6e-7aa0d8680067&groupId=10157](http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=ab80a611-f997-4864-bd6e-7aa0d8680067&groupId=10157).
- [10] Martínez et al, (2013). Renewable and Sustainable Energy Reviews Waste tyre pyrolysis–A review. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13640321/23>. [[12] Ministerio de ambiente, v. y. (2008). Reauche y aprovechamiento de llantas. Disponible en: [http://www.metropol.gov.co/ProduccionLimpia/Documents/CI%3%BAster%20Transporte/Manual\\_PL\\_Reencauche\\_Aprovechamiento\\_Llantas.pdf](http://www.metropol.gov.co/ProduccionLimpia/Documents/CI%3%BAster%20Transporte/Manual_PL_Reencauche_Aprovechamiento_Llantas.pdf).
- [13] Ramírez, 2. (2012). CREACIÓN DE UNA EMPRESA DEDICADA AL RECICLAJE DE LLANTAS., Disponible en: <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/2513/RamirezViviana2012.pdf?sequence=1>
- [14] Ruiz Suárez, (2015). LAS LLANTAS USADAS ES UN PROBLEMA PARA EL DISTRITO CAPITAL. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13098/3/Trabajo%20de%20Grado%20Diana%20Marcela%20Perdomo%20Beltr%C3%A1n%20UMNG%202014.pdf>
- [15] Unión temporal OCADE LTDA, (2000). Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>
- [16] Por la cual se dictan lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usados, y llantas no conforme en el Distrito Capital, RESOLUCIÓN 6981 DE 2011, Diciembre 27.
- [17] Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras disposiciones, RESOLUCIÓN 1457 DE 2010, Julio 29.
- [18] Industrial Dynamics, Jay Forrester, 1961. Pegasus Communications, Inc. Waltham. Canada.
- [19] Modelamiento de Aspectos Ambientales en la Cadena de Suministro de Bioetanol, Danny W. Ibarra, 2013.
- [20] Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas, Silvia Lorena Ávila, 2011.
- [21] Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Enfoque de dinámica de sistemas, Luz-Angélica. Rodríguez B., 2012.

## 39. MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS PARA UN DISTRITO DE RIEGO

**DIEGO FERNANDO ANGULO MESA, STEFANY GARCIA, JOHAN MANUEL REDONDO**

Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales. Bogotá D.C - Colombia  
Dangulomesa@gmail.com, julieth\_g24@hotmail.com, galileonp@hotmail.com

### RESUMEN

En este documento se realizó la construcción de un modelo para el reconocimiento de la influencia de las variaciones en la demanda de agua de un distrito de riego sobre la oferta en el caudal, utilizando como metodología de modelamiento la Dinámica de Sistemas. Se tuvo en cuenta la inclusión del concepto de caudal ecológico en el modelamiento, como política de conservación del ecosistema. Los resultados obtenidos en las simulaciones son concluyentes acerca de la gestión del recurso hídrico en los distritos de riego.

**PALABRAS CLAVE:** Oferta y demanda hídrica, distrito de riego, caudal ecológico, Dinámica de Sistemas.

### I. INTRODUCCION

Según los pronósticos del crecimiento demográfico, el desarrollo industrial junto con la expansión del riego en la agricultura en los próximos 20 años, la demanda de agua alcanzará niveles tan altos que cada vez será más difícil abastecerles (Steiner, 2000). La disponibilidad de recursos como agua y energía es limitada, y una economía basada en el crecimiento y el progreso continuo, conlleva una demanda de estos recursos que crece de forma exponencial y que en cierto momento el planeta no podrá suplir (De Castro Carranza, 2004).

Por otra parte, un tema relevante para la realización de este documento es la precipitación, ya que el caudal depende directamente de este aspecto, de hecho, a partir del análisis de aspectos hidrológicos como lo son precipitación y caudales anuales se pueden detectar los años de déficit y excesos del recurso en una región (Silvestri & Bischoff, 2000).

En Colombia existen diferentes fenómenos atmosféricos que afectan las precipitaciones, estos fenómenos atmosféricos son influenciados por variación geográfica y la biodiversidad en toda la superficie dentro del territorio colombiano, por lo tanto las precipitaciones varían de región en región (Ruíz J. F, Cadena, & Guzman, 2014).

Las precipitaciones actúan en los sistemas de riego, durante épocas de sequía es necesaria una mayor captación de agua (Perez Preciado, 2006).

De acuerdo a lo anterior, es importante reconocer la oferta del recurso, que es aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema es transportada por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales para luego llegar directa o indirectamente al mar (CORPONARIÑO, 2009).

La oferta Hídrica corresponde también al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades para el desarrollo del hombre (Ordoñez Galvez, 2011).

En Colombia, con el objetivo de garantizar la recuperación de cualquier cuenca, es necesario que toda actividad económica, tenga un porcentaje máximo de captación, este límite establece el caudal ecológico de la cuenca, que puede definirse como el agua necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce del mismo, además de su entorno (Upegui & Liliana, 2004).

Además del caudal ecológico, la oferta hídrica tiene una relación estricta con la demanda, esta relación es utilizada como indicador del nivel de impactos

generados, tanto positivos como negativos sobre el recurso y es expresada, en forma porcentual, nombrada como índice de escasez (Gonzalo

Rivera, Vanegas Sarmiento, Moreno, & Calle Domínguez, 2008).

El enfoque de este documento es hacia los distritos de riego, por lo tanto, la demanda será evaluada como la cantidad de agua necesaria para abastecer un sistema de riego. Esto incluye la demanda de agua doméstica y de otros usos como los de ganadería. En otras palabras, el atributo demanda, en el sistema que se presenta más adelante, es la demanda total.

El riego, en la agricultura, es utilizado esencialmente para abastecer las plantaciones, esta actividad consume la mayor parte del agua que es captada como resultado de la evaporación, la incorporación del líquido para el desarrollo de la planta y por último la transpiración de cada planta en los cultivos. Entonces los sistemas de riego mantienen el cultivo, y por consiguiente su producción, de hecho muchos países en los que las condiciones de precipitación son insuficientes, la única alternativa es el riego (ONU, 2002). Por consiguiente, el caudal tomado de una cuenca, dependerá de la cantidad de hectáreas que se quieran cultivar. Los sistemas de riego, son concesiones, que usualmente se otorgan con el objetivo de hidratar sistemas de agricultura (Ministerio de Agricultura, 1978). Con este principio se determinó evaluar el sistema de riego abastecido por el río Bogotá, "Arriba" de la ciudad de Bogotá.

Este documento corresponde a la presentación de resultados parciales de nuestro estudio, el cual tiene como objetivo evaluar los aspectos relevantes en un sistema de captación de agua, todo esto con el fin de determinar la relación entre la oferta y la demanda, para la posterior elaboración de políticas.



Figura (1): Sistema de riego, captación de la Laguna de Tota, Boyacá, Colombia (Agrotech de Colombia, 2012).

La metodología empleada comprendió la elaboración de un modelo matemático del sistema de captación, enfocado en una actividad en particular: los sistemas de captación de agua para riego. La técnica utilizada para la realización del modelo fue la Dinámica de Sistemas.

## II. CONTEXTUALIZACIÓN DEL MODELO

Para el modelamiento se tomó un tramo de estudio de la cuenca alta del Río Bogotá (zona N 10, Tocancipa). La cuenca alta del río Bogotá, recorre varios municipios: Villapinzón, Chocontá, Suesca, Sesquilé, Gachancipá, Tocancipá, Zipaquirá, Cajicá, Sopó, Chía, Cota, Nemocón, La Calera, Cogua, Guatavita, Guasca, Tabio, y Tenjo la longitud de ese tramo es de 170 Km. En el municipio de Tocancipa la altura 2550 Metros de Altura, la humedad y la altura de la zona, son las indicadas para la siembra de hortalizas, para esta área principalmente la captación de agua es para cultivos de papa (Groot Sáenz, 2012).

Para los datos de precipitación y caudales se utilizó información del IDEAM, que abarca la zona número 10 de la cuenca del Río Bogotá. La Figura (2) muestra, Los valores de precipitación medidas en milímetros por el periodo de estudio.

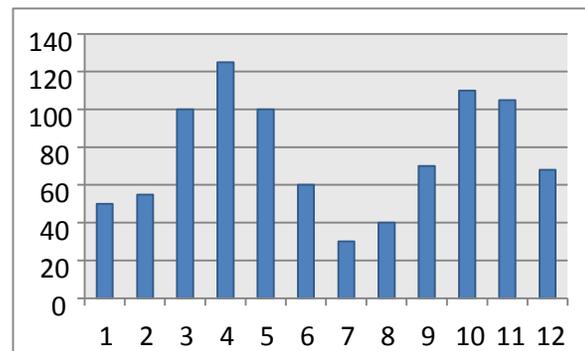


Figura (2): IDEAM –Precipitaciones Zona (10) Cuenca del Río Bogotá. (Ruíz J. F, Cadena, & Guzman, 2014)

La Figura (3) muestra los caudales mensuales multianuales para esta zona, de los cuales serán objeto de estudio los valores medios mensuales, los cuales se utilizan para el cálculo del caudal ecológico de acuerdo con la norma.

	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
promedio máximo mensuales (m <sup>3</sup> /seg)	12.8	13.7	16.2	13.6	14.8	14.1	15.0	13.9	12.8	14.7	14.8	13.5
promedio medio mensuales (m <sup>3</sup> /seg)	9.69	10.4	10.1	9.59	8.74	8.64	9.56	9.08	8.94	8.56	8.17	8.70
promedio mínimo mensuales (m <sup>3</sup> /seg)	7.16	8.13	7.16	6.24	5.32	5.16	5.69	5.79	5.53	5.01	4.80	5.48

Figura (3): Caudales mensuales multianuales de la estación Tocancipá (1970 – 2008) (Charry Gonzalez & Leon Rodriguez, 2010)

### III. PROCESO DE MODELAMIENTO

Luego de identificar cada uno de los factores que giraban alrededor de la captación de aguas para riego, se llegó a la Figura (4) que presenta el modelo de la demanda para un sistema de riego. En el diagrama causal vemos que, mientras mayor sea el caudal captado de la cuenca menos será la oferta del recurso, mientras que al ser mayor la oferta será mayor la demanda por cuestiones de comportamiento de las comunidades, al ser mayor la demanda es mayor el interés por la siembra ya que esto supone que se cuenta con el recurso para satisfacer la necesidad de riego y esto sugiere que las hectáreas sembradas serán mayores. La oferta hídrica depende del caudal ecológico.



Figura (4): Diagrama causal de un Sistema de Captación de aguas para un Distrito de Riego.

El diagrama de niveles y flujos es presentado en la Figura (5), donde tenemos como variables de estado del sistema la oferta hídrica y las hectáreas cultivadas.

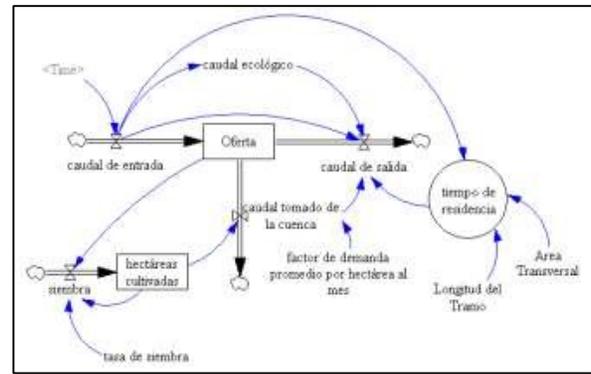


Figura (5) Diagrama de niveles y flujos representación de un Sistema de Captación de aguas para un Distrito de Riego.

El cambio infinitesimal de la oferta con respecto al tiempo, está definido como sigue:

$$\frac{dOf}{dt} = Q_E - Q_S - Q_T$$

El caudal de entrada  $Q_E$  son los valores mensuales multianuales de la estación Tocancipá (1970 – 2008).

El caudal de salida  $Q_S$  depende del Caudal Ecológico  $Q_{ECO}$  del cauce, el caudal de entrada  $Q_E$ , el caudal tomado  $Q_T$  y el tiempo de residencia  $T_R$ , de modo que la ecuación es como sigue:

$$Q_S = \begin{cases} 0 & t < T_R \\ \max\{Q_{ECO}, (Q_E - Q_T)\} & t \geq T_R \end{cases}$$

La ecuación explica que el caudal de salida  $Q_S$  es nulo hasta que se cumple el retardo que viene dado por el tiempo de residencia  $T_R$  del cuerpo de agua en el canal. Cumplido el tiempo de residencia  $T_R$  debe salir la diferencia entre el caudal de entrada  $Q_E$  y el caudal captado de la cuenca  $Q_T$ , pero cuando este se hace inferior al caudal ecológico  $Q_{ECO}$ , se pide que salga el caudal ecológico  $Q_{ECO}$ , de modo que no se exponga la demanda de recurso hídrico de los ecosistemas aledaños. Esta fórmula para el caudal de salida  $Q_S$  representa el estado ideal que debería existir en los distritos de riego, que seguramente no es el real.

El caudal ecológico  $Q_{ECO}$  depende del producto entre el caudal de entrada y un valor constante tomado de la normatividad legal vigente en Colombia (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Terr, 2004).

$$Q_{ECO} = 0.25 \cdot Q_E$$

El caudal tomado depende de un factor de demanda promedio por hectárea al mes  $F_d$  y las hectáreas cultivadas  $H_C$ :

$$Q_T = F_d \cdot H_C$$

Las hectáreas cultivadas  $H_C$  dependen de la siembra  $S$  en el sistema:

$$H_C = S$$

Utilizamos una función a trozos para expresar el comportamiento de una variable en este caso la Siembra  $S$ , de modo que si la Oferta del cauce  $Of$  de la simulación es menor a 0, entonces el recurso es nulo y no habrá interés en sembrar, representado  $Of < 0$  como se muestra a continuación:

$$S = \begin{cases} 0 & Of < 0 \\ T_S \cdot H_C & Of > 0 \end{cases}$$

Por último, el tiempo de residencia  $T_R$  depende de la longitud del tramo de estudio  $x$ , del caudal de entrada  $Q_E$  y del área transversal del cauce  $A_T$  multiplicado además por un factor de corrección para el tiempo.

$$T_R = \frac{x}{Q_E} \cdot A_T \cdot FC$$

#### IV. SIMULACIONES

En la Figura (6) se observa el comportamiento del caudal de entrada y el caudal de salida. Se observa que tienen trayectorias similares desfasadas en el tiempo, que se corresponde con el tiempo de residencia del cuerpo de agua en la cuenca.

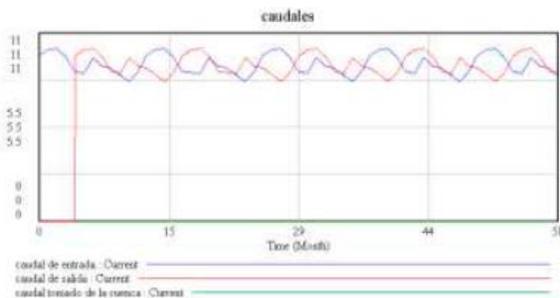


Figura (6) Representación gráfica en el que se relacionan las condiciones iniciales de los caudales del modelo despreciando la captación de aguas.

En la Figura (7) se muestra la disminución del caudal de salida al incrementar el caudal captado de la cuenca

para riego, disminuyendo la cantidad de agua que desemboca a los afluentes más grandes.

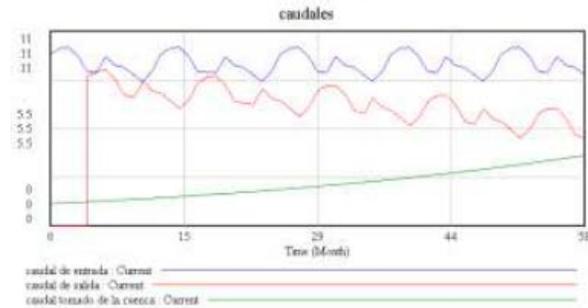


Figura (7) Representación gráfica en la que se muestra la influencia del caudal captado para riego en el caudal de salida.

La Figura (8) muestra el comportamiento del modelo al aumentar drásticamente la demanda. En estas condiciones, el sistema alcanza su condición crítica, igualándose el caudal de salida (línea color rojo) con el caudal ecológico (línea color gris), lo que implica que el ecosistema está en su valor mínimo de agua necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce del mismo.

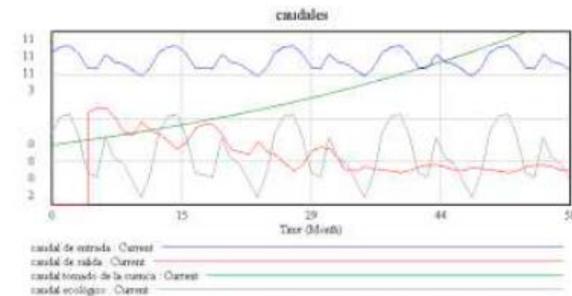


Figura (8) Representación gráfica del caudal de salida con respecto a aumento de la demanda de agua.

En la Figura (9) se muestra el aumento del caudal tomado de la cuenca (línea color verde), a causa de un aumento indiscriminado en la tasa de siembra. Esto permite reconocer la influencia de la siembra en la pérdida de oferta, poniéndose en riesgo incluso el caudal ecológico. La simulación muestra como en el momento de aumento de demanda el caudal de salida (línea de color rojo) disminuye hasta hacerse prácticamente cero.

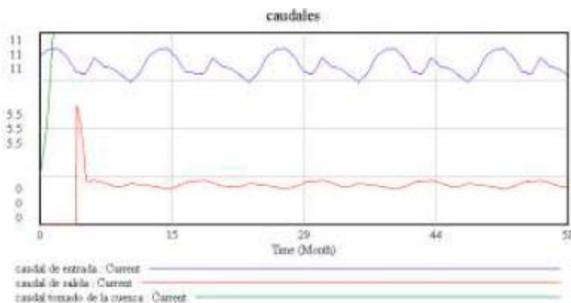


Figura (9) Representación gráfica en la que se muestra una tasa de siembra alta.

La Figura (10) muestra el comportamiento del sistema frente al aumento en el número de hectáreas cultivadas, en el caso en el que el distrito de riego alcanza un valor tope de cultivos, que corresponden a la saturación del espacio con plantaciones productivas, pero además, no se considera el 0.25 asignado para el caudal ecológico. Como se espera, el caudal de salida disminuye hasta secar la cuenca.

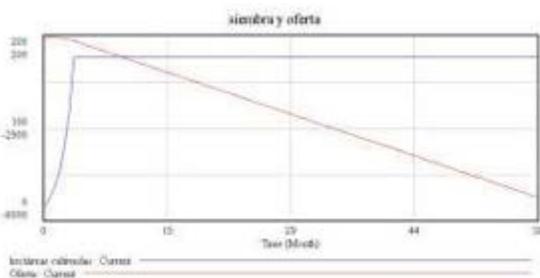


Figura (10) Representación gráfica de siembra respecto a la oferta.

### V. CONCLUSIONES

- En este documento se determinaron las condiciones y los factores que influyen en un sistema de captación de riego, para evaluar los aspectos relevantes. A partir de estas condiciones se construyeron diagramas y se establecieron los bucles de realimentación, todo esto con el fin de determinar la relación entre la oferta y la demanda, además, se buscó determinar hasta qué punto un sistema hídrico podrá soportar la demanda sobre la oferta.
- Los distritos de riego son considerados un problema fundamental para los sistemas hídricos (De Castro Carranza, 2004). De acuerdo con este trabajo, la captación de aguas para riego involucra la disminución de la oferta, alterando las características y la funcionalidad del recurso, lo cual se ve reflejado en la pérdida del caudal de salida que alimenta otras fuentes hídricas.

- La metodología de conservación del recurso agua que propone el estado es el caudal ecológico. Cuando se realiza una captación muy alta de aguas para riego, el caudal de salida disminuye, en algunos casos igualando el caudal ecológico y en otros sobrepasándolo, afectando la funcionalidad de los ecosistemas aguas abajo. Cuando las captaciones de agua no tienen consideraciones ecosistémicas como la que sostiene el concepto de caudal ecológico y explotan el recurso hasta agotarlo, se pone en riesgo la vida humana.
- Mientras no se realice revisión y seguimiento de los cauces del país, y el aprovechamiento que se le está realizando a cada uno de ellos, no se sabrá si se cumplen a cabalidad las normas propuestas para la recuperación de los mismos. Los distritos de riego son puntos importantes de evaluación ya que como lo mostró el modelo, son una causa importante de pérdida y alteración de los recursos hídricos.

### VI. REFERENCIAS

[1] Agrotech de Colombia. (22 de 05 de 2012). Agrotech de Colombia S. A. S. Obtenido de <http://www.cebollalarga.com/apps/photos/photo?photoID=156336729>

[2] Charry Gonzalez, C., & Leon Rodriguez, J. A. (2010). Perfil Ambiental Subcuenca Rio Sisga – Tibitoc . Bogotá D.C., Colombia.

[3] CORPONARIÑO. (2009). Ordenamiento del Recurso Hídrico " Quebrada Miraflores".

[4] De Castro Carranza, C. (2004). Ecología y desarrollo humano sostenible. . Valladolid.

[5] Gonzalo Rivera, H., Vanegas Sarmiento, R., Moreno, P., & Calle Domínguez, E. (2008). (1) Relaciones Demanda-Oferta De Agua y el Índice De Escasez De Agua como Herramientas de Evaluación del Recurso Hídrico Colombiano. Bogotá D.C., Colombia.

[6] Groot Sáenz, A. (2012). Enfrentando el desafío histórico del abastecimiento de agua en Bogotá. Bogotá D.C., Colombia.

[7] IDEAM. (2004). Metodología de Cálculo de Índice Dde Escasez. Bogotá.

[8] Ministerio de Agricultura. (1978). Decreto 1541. Bogotá.

[9] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Terr. (2004). Resolución 865.

[10] ONU. (2002). Agua y Cultivos. Roma, Italia.

[11] Ordoñez Galvez, J. (2011). Blance Hidrico Superficial. Lima, Peru.

- [12] Pérez Preciado, A. (2006). El Problema del Río Bogotá. Bogotá D.C., Colombia.
- [13] PNUMA, E. y. (2000). Estrategia y política del.
- [14] Ruíz J. F, Cadena, M., & Guzman, D. (2014). (1) Regionalización de Colombia según la Estacionalidad de la Precipitación Media Mensual, a Través Análisis de Componentes Principales (Acp). Bogotá D.C., Colombia.
- [15] Sanchez-Roman, R., Folegatti, M., & Orellana González, A. (2010). Una aproximación para la evaluación de los recursos hídricos utilizando dinámica de sistemas en las cuencas hidrográficas de los ríos Piracicaba, Capivarí y Jundiaí. Sao Paulo, Brasil.
- [16] Silvestri, G., & Bischoff, S. (2000). Algunas Características de la Precipitación y los Caudales en la Cuenca del Río Uruguay. Buenos Aires, Argentina.
- [17] Steiner, A. (2000). Estrategia y política del.
- [18] Upegui, J. I., & Liliana, R. (2004). Corrientes Naturales Intervenciones y Condiciones Ecológicas. Medellín.

## 42. DETERIORO DEL SUELO FRANCO ARCILLOSO EN CULTIVOS DE ARROZ SECANO POR EL USO DE PLAGUICIDAS Y PESTICIDAS

JOHN CASTIBLANCO, GERALDINNE GONZALEZ, JOHAN MANUEL REDONDO

Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales. Bogotá D.C.- Colombia.  
takscastiblanco@gmail.com, geraldinne21@gmail.com, galileonp@hotmail.com

### RESUMEN

Los principales cultivos de arroz seco se encuentran en el municipio del Meta, debido a las características de sus suelos franco arcillosos. Se presentan varios factores que han alterado la calidad de estos suelos, por el uso de agroquímicos que se han acumulado en el suelo, disminuyendo la producción de arroz. En este documento se realiza una primera aproximación del modelamiento del impacto que genera el uso intensivo de agroquímicos dependiendo de la temporada de lluvias del año. Se concluye que durante las épocas más lluviosas, las plagas y malezas aumentan, así que se debe utilizar con mayor frecuencia plaguicidas y pesticidas.

**Palabras Clave:** Dinámica de Sistemas, Deterioro del suelo, Suelo, Producción Agrícola, Agroquímicos, Modelo.

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la tasa de producción agrícola se ha incrementado debido al aumento poblacional en el mundo (FAO, 2013), así que los productores agrícolas han creado estrategias para responder a este incremento hasta el momento, la demanda de alimentos de la población mundial ha podido ser atendida en su mayoría con la producción agrícola. En Colombia, los cultivos más importantes son el maíz, el café y el arroz, sobre este último se enfoca este trabajo.

La producción de arroz se ha convertido en una variante fundamental de la economía local, siendo el cultivo número uno en términos de valor económico en Colombia dentro de los cultivos de ciclo corto (FAO, 2010).

En el país existen dos variedades de arroz claves para ser producidos: el arroz de riego, donde su recurso hídrico proviene de aguas de los distritos de riego y se cultiva principalmente en Tolima. Y el arroz seco, que utiliza exclusivamente aguas lluvias, que son drenadas por medio de canales para el cultivo, en donde los principales municipios que lo cultivan son Casanare, Sucre y Meta tal y como se observa en la Figura (1).

El presente artículo es una aproximación de todos los factores asociados al deterioro del suelo franco arcilloso, perteneciente al municipio del Meta, el cual es el más apto para el proceso del cultivo de arroz seco.

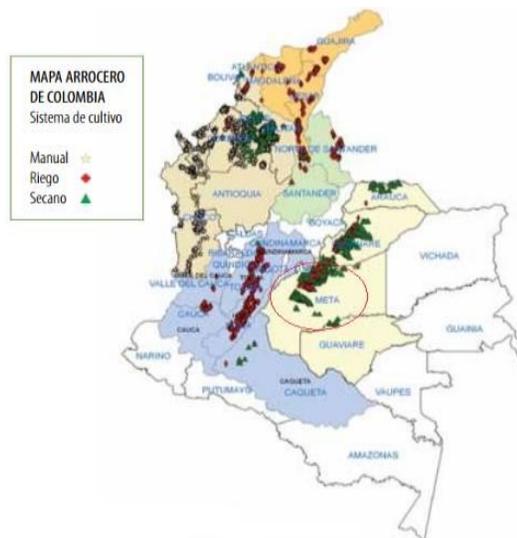


Figura (1) Mapa Arrocero de Colombia Fuente: FEDEARROZ-FNA

Durante el año 2014, según resultados del DANE, el área total nacional sembrada de cultivo de arroz fue de 372.802 hectáreas donde Casanare presentó la mayor participación con un 33,8% equivalente a 92.060

hectáreas y una producción de 479.789 toneladas y el departamento del Meta, con un área cosechada de 39.738 hectáreas, con una producción de 192.635 toneladas, que con respecto al año 2013 se vio disminuida en un 20%.

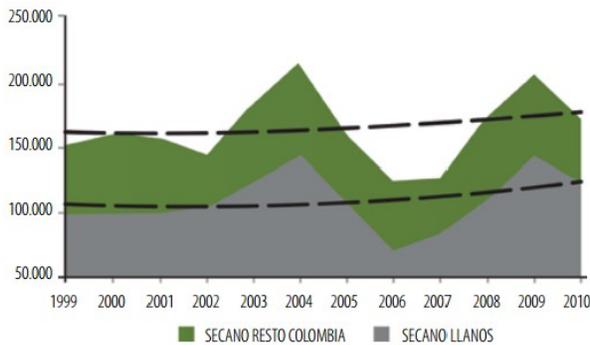


Figura (2) Área anual sembrada en seco en hectáreas, Fuente: DANE – FEDEARROZ

El primer factor determinante, para la siembra del cultivo de arroz seco, es tomar las precipitaciones que se presentan durante el año 2014, definiendo los dos periodos con mayor precipitación; Los meses que presentaron mayor cantidad de lluvias, fueron Abril, Mayo, Junio, Octubre y Noviembre (IDEAM, 2014).

Precipitaciones mensuales de año anterior

Fecha	Departamento	Precipitaciones
ene-14	Meta	30,49
feb-14	Meta	53,43
mar-14	Meta	114,89
abr-14	Meta	444,03
may-14	Meta	327,18
jun-14	Meta	397,3
jul-14	Meta	318,26
ago-14	Meta	249
sep-14	Meta	232,75
oct-14	Meta	372,66
dic-14	Meta	96,49

PRECIPITACIONES (mm) ENTRE 1981 -2010												
DEPARTAMENTO			LONGITUD					LATITUD				
Meta			4°39'00"N					1°5'30'00"U				
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
182367,8	202244,8	281882,4	425039,9	483209,0	384511,0	352630,8	350784,3	399004,7	490191,8	419524,0	265091,7	4236482,2

Figura (3) Tablas de Precipitaciones Fuente: IDEAM

En cuanto a la composición del suelo, se encuentran tres fases, que determinan su calidad, la primera es: la fase sólida, se presenta principalmente en los horizontes A Y B y está compuesta por materia orgánica, La fase líquida, que actúa como transporte de agua y nutrientes para las plantas, Y la fase gaseosa que corresponda al aire del suelo y nos muestra la actividad microbiológica, y por ende la fertilidad (Escarria, 2012). Conjuntamente se tienen en cuenta sus propiedades físicas, químicas y biológicas para la

caracterización del suelo, determinando si es apto para la actividad agrícola, tal y como se ve en la Figura (4).

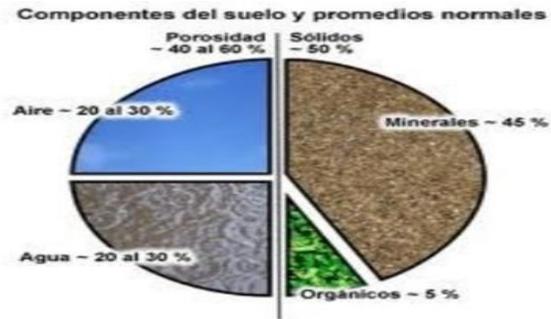


Figura (4) Composición del Suelo

El suelo de los Llanos Orientales pertenece al grupo de suelos franco arcilloso, cuya tipología dependen del análisis de suelo que se realice por parte del equipo de trabajo o del agrónomo, la mayor parte de este suelo presenta, buena retención de agua, baja permeabilidad y una buena fertilidad, pero se caracteriza por la baja presencia de los principales nutrientes (nitrógeno, potasio y fósforo), y también por la presencia de acidez (Gutiérrez, 2011) que aunque son condiciones muy limitantes para el desarrollo de cultivos, se han implementado correctivos para aprovechar gran parte de éste. En la preparación del cultivo se presentan deficiencias técnicas por parte de los cosechadores al disponerlo, provocando la aparición de plantas adventicias, malezas y plagas que deben ser tratadas antes durante y después de la cosecha, por ende, la calidad del suelo se ve afectada y reducida a lo largo del tiempo, principalmente por el uso excesivo de los agroquímicos que mitigan y controlan la aparición de enfermedades en las plantas.

Para el control de las malezas se lleva a cabo el uso de plaguicidas, tal como el glifosato, siendo el más común a nivel mundial. El glifosato es un herbicida no selectivo, totalmente soluble en agua y casi insoluble en solventes orgánicos, el cual es aplicado tres veces antes de su siembra en una dosis de 4 litros por hectárea, procedimiento que se realiza una vez, cada semestre del año. (Bustos, 2012). Este herbicida ingresa a las plantas a través de las hojas para migrar luego por el resto de los tejidos de la planta, y tiene la capacidad de trasladarse finalmente al suelo, provocando una reducción en la nutrición de los mismos (Riley, 2011).

Aparte de las malezas existen otros organismos que deterioran y perjudican el cultivo de arroz; las plagas,

tales como insectos, ácaros, hongos y roedores presentes en el cultivo, que al igual que las malezas, ha venido reduciendo la productividad del cultivo de arroz en años anteriores (Chaves 2013). Los agricultores deben dar uso de estos agroquímicos para recuperar la productividad perdida por las malezas y plagas, esto trae como consecuencia la alteración de las propiedades físicas (textura, porosidad), químicas (pH, balance de nutrientes) y biológicas (poblaciones microbiológicas) del suelo (Roncallo, 2012).

Los agroquímicos junto con los fertilizantes, afectan la actividad de enzimas y reacciones bioquímicas del suelo, como la Eutrofización que se abre paso hacia las aguas superficiales, y la Desnitrificación y Acidificación principalmente, convirtiéndose estos en otros factores importantes causantes del deterioro constante en el suelo.

**MODELAMIENTO**

El mercado de agricultura para el país avanza hacia nuevos estándares de calidad y por esta razón el cultivo de arroz seco para los agricultores ofrece la ventaja necesaria para alcanzar estas pautas pese a las dificultades que se han presentado en la regulación de tales actividades, en la construcción previa del Modelo se identificó como objetivo principal las razones de influencia en el deterioro del suelo de tal manera que se utilizó la metodología de Dinámica de Sistemas en el estudio base de los problemas de degradación, que dentro del proceso de cultivar arroz seco se genera, por tal motivo es necesario realizar una aproximación conjunta sobre las causas y efectos que se presentan el uso de agroquímicos de manera intensiva, es importante resaltar que en esta sección del artículo se mencionan los factores más importantes, no obstante el modelo puede presentar varias alteraciones, pero en este caso se sugieren los siguientes elementos que formaran los respectivos Diagramas, en el primero de ellos en la Figura (5), se aprecia un Diagrama Causal que genera un Bucle de Realimentación positiva en el cual se presenta un fenómeno llamado círculo vicioso, por lo cual será llamado círculo vicioso del que dependen los agroquímicos.

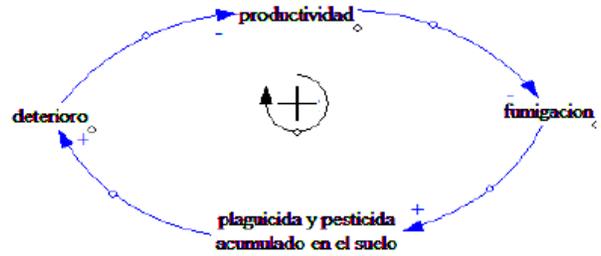


Figura (5) Diagrama Causal

Se observa que estos elementos interactúan entre si haciendo que el bucle presente un crecimiento exponencial, si hay más fumigación en el cultivo hay más plaguicida y pesticida acumulado en el suelo, si hay más plaguicida y pesticida acumulado en el suelo hay más deterioro, si hay más deterioro hay menos productividad y finalmente si hay más productividad hay menos fumigación. En la Figura (6) se presenta el diagrama de niveles y flujos, construido a partir del análisis en el diagrama causal se han considerado dos variables de estado para el estudio de este problema: 1) plaguicida y pesticida acumulado en el suelo, ppas, 2) Productividad.

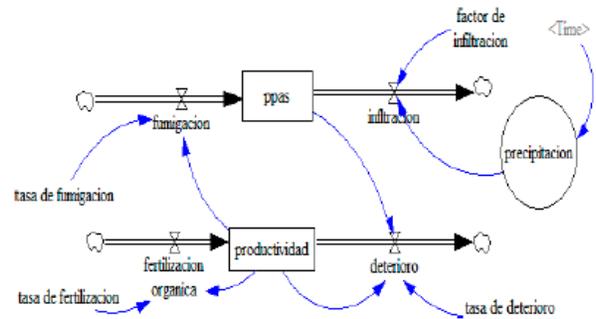


Figura (6) Diagrama de Niveles y Flujos

Las variables de Flujo son: 1) fumigación, 2) infiltración, 3) fertilización orgánica, 4) deterioro; Los parámetros son: 1) factor de infiltración, 2) tasa de fumigación, 3) tasa de fertilización, 4) tasa de deterioro, y como variable auxiliar se consideró precipitación.

**ECUACIONES**

En el diagrama de N y F se utilizaron las siguientes ecuaciones:

## Ecuaciones de Nivel

$$\frac{d}{dt} ppas = \text{Fumigación} - \text{Infiltración}$$

$$\frac{d}{dt} \text{productividad} = \text{Fertilización Orgánica} - \text{Deterioro}$$

## Ecuaciones de Flujo

$$\text{Infiltración} = \text{Factor de Infiltración} * \text{Precipitación}$$

$$\text{Fumigación} = \text{Tasa de Fumigación} * \text{Productividad}$$

$$\text{Deterioro} = \text{Tasa de Deterioro} * ppas * \text{Productividad}$$

$$\text{Fertilización} = \text{Tasa de Fertilización} * \text{Productividad}$$

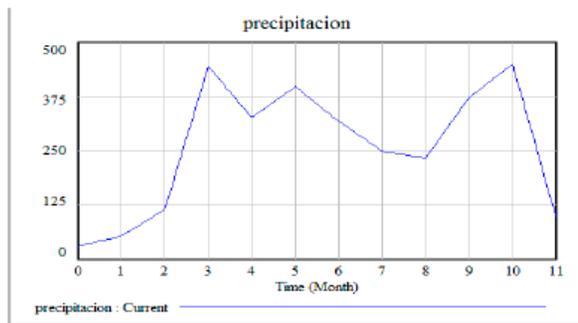


Figura (7) Gráfica Precipitaciones

## SIMULACIONES

Se realizaron un conjunto de simulaciones utilizando el software Vensim PLE versión 6.5 para Dinámica de sistemas, como resultado se encontraron cambios cualitativos en las curvas de variable de estado determinadas por los parámetros ajustando y combinando las etapas de cada simulación, en primer lugar se inicia cuando el sistema se encuentra en estado crítico con condiciones iniciales de 0.02 a una escala de tiempo promedio de 12 meses y finaliza con una recuperación leve, luego se comparan los resultados de cada simulación para efectuar los cambios necesarios que requiere calibrar el modelo, los comportamientos responden a la situación que normalmente se presenta en esta actividad, en la primera grafica de la Figura (8) se observa el decrecimiento de la productividad del suelo de manera notoria causada por el uso del agroquímico alojado en el suelo.

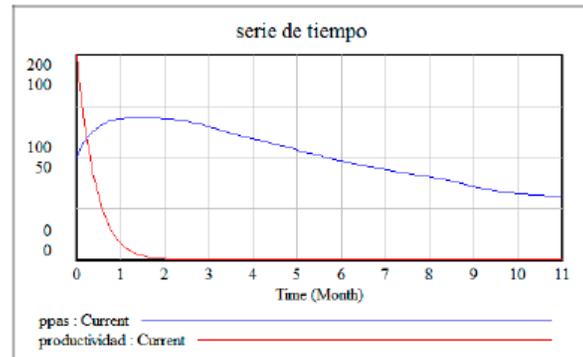


Figura (8) Gráfico Inicial y Crítico del Modelo

La curva de ppas aumenta en los tres primeros meses y disminuye a partir del cuarto mes manteniéndose constante en el resto del año, se asume que la primera etapa de producción en el cultivo los cosechadores dan uso de los agroquímicos para prevenir la aparición de enfermedades en las plantas, pero el factor de lluvias puede generar un incremento en las plagas y malezas por eso la curva de ppas se mantiene constante a lo largo del año ya que los cosechadores están en constante fumigación, del cultivo, examinando las áreas con más densidad de plagas y malezas presenten.

En la Segunda simulación de la Figura (9) aparecen variaciones en el sistema y el factor más influyente para este caso son las precipitaciones anuales, por ejemplo durante el mes de mayo la curva de ppas disminuye mientras que la producción incrementa ya que el sistema no presenta alteraciones en su producción por los ppas, luego para el mes de abril se incrementan los ppas por razones de lluvias que a su vez generan infiltración en el suelo disminuyendo la producción pero en los tres meses posteriores disminuyen los ppas por el mismo dominio de las precipitaciones, esta misma situación se representa en los meses de octubre y noviembre independiente en que temporada climatológica se encuentre.



Figura (9) Gráfica Fases Intermedias del Modelo

En la tercera simulación de la Figura (10) el dinamismo del modelo toma un rumbo esperado, con la recuperación de la producción, la curva de ppas disminuye de tal manera que ya satura el sistema y la infiltración de las aguas lluvias, arrastra aguas abajo o aguas superficiales los contaminantes generados por los agroquímicos, cuando esto ocurre el suelo tiene capacidad de recuperarse nuevamente generando materia orgánica con ayuda de abonos y fertilizantes y por ende volviendo al ciclo dinámico de producción para cultivos de arroz seco.

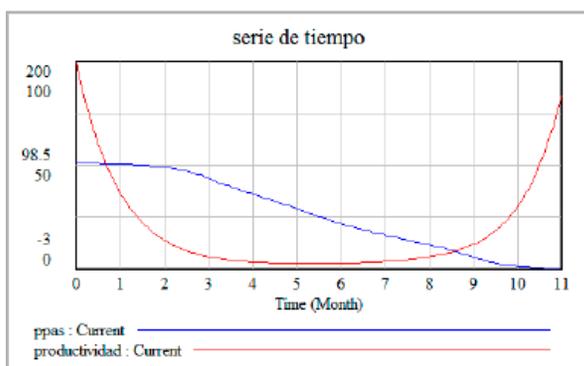


Figura (10) Gráfica Recuperación del Modelo

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los diagramas y las gráficas de simulaciones presentadas en este trabajo, se muestra que el uso en exceso de los agroquímicos por parte de los cosechadores al momento de tratar las plagas y malezas que aparecen en dicho cultivo, afectan de manera intensa la capacidad de uso y fertilidad del suelo, la tasa de fumigación y fertilización influyen directamente en el incremento del deterioro del suelo ya que por infiltración y arrastre de aguas contaminadas al suelo se generan problemas que afectan al terreno a lo largo del tiempo.

El modelo nos demuestra que el factor más importante para mitigar o permitir que el suelo se autorregule es con la buena aplicación y utilización de los agroquímicos, los cosechadores deben utilizar planes como MIPM (Manejo Integral de Plagas y Malezas), MAC (Manejo de Agroquímico en el Cultivo), y sobre todo BPA (Buenas Practicas Agroecológicas) establecidas por entidades estatales como el ICA, y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

## REFERENCIAS

- [1] C.A. Rojas; Metodología para la caracterización topográfica de un predio,
- [2] Escarria, J.M. (2012). Caracterización para la sustentabilidad agrícola y la seguridad alimentaria de los suelos en el corregimiento de cauca jurisdicción del municipio de Cartago, departamento del valle del cauca. (Maestría en medio ambiente y desarrollo). Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- [3] Rodríguez, C.A. (2005) Metodología para la caracterización topográfica de un suelo. (Abstract). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá
- [4] Ramírez, T. (2009). Efectos de agroquímicos en las propiedades físico – químicas y biológicas en suelos de Táchira – Venezuela. (Título de especialista en química ambiental). Universidad industrial de Santander. Venezuela
- [5] Bustos, D.C. (2012). Destino ambiental del glifosato en una zona arroceras del Tolima, Colombia. (Tesis doctoral en ciencias agropecuarias). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá
- [6] Delince, W. Valdes, R. López, O. (2015). "Riesgos ambientales por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L". Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 24, No 1. Marzo 2015, pp 44 – 50.
- [7] Meek, E. Aldana, H. (2011). "Invima monitorea residuos químicos y contaminantes". Frutas y Hortalizas. Vol. 1 N. 16. Abril 2011, pp 29 - 31.
- [8] Páez, O. (1991). "El cultivo de arroz Densidad de siembra control de malezas y fertilización". FONAIAP Divulga. No 36
- [9] Chaves, G. Ortiz, L.Y. Ortiz, M.L. (2013). "Efectos de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo". Revista Scielo. Vol. 62, No 1. Octubre 2013, pp 66 -72.
- [10] Encuesta de arroz mecanizado I semestre del 2014, Agosto 2014. Bogotá. Disponible en [www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol\\_arroz\\_Isem14.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol_arroz_Isem14.pdf)
- [12] Encuesta de arroz mecanizado II semestre del 2014, Febrero 2015. Bogotá. Disponible en [www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol\\_arroz\\_IIssem14.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol_arroz_IIssem14.pdf)
- [13] Gutiérrez, N. Barón, J. Roa, J. (2011). "Dinámica del sector arroceras de los Llanos Orientales de Colombia".



## 45. SUPPLY CHAIN DECISION MAKING: A SYSTEM DYNAMICS APPROACH

**ANDRÉS FELIPE CARDONA TRIANA, JUAN SEBASTIÁN LÓPEZ LASPRILLA, FERNANDO ANTONIO ARENAS GUERRERO**

Universidad ICESI, Cali, Colombia

andres-cardona794@hotmail.com, sebaslopez61@hotmail.com, faarenas@icesi.edu.co

### ABSTRACT

This article presents an analysis of the impact of delays, information management and type of demand, on the performance of a three echelons supply chain, based on the "beer game". Four scenarios of access to information on final demand for different members of the chain were developed over a system dynamics model. For each of these scenarios delivery delay times and type of demand were changed and four indicators were used to measure the supply chain performance: return on assets, accumulated income, accumulated value of inventory and service level. The results show that the location (echelon) of the access to information is critical to the performance and in contrast to previous studies, this effect is independent of the type of demand. Moreover, the results are consistent with previous studies on the positive effect of the reduction in delays on the overall performance of the chain, regardless of the type of demand.

**KEYWORDS:** System dynamics, modeling, simulation, supply chain, beer game, information sharing.

### I. INTRODUCCIÓN

El desempeño financiero de las cadenas de abastecimientos ha sido asociado con el "Efecto látigo", el cual es definido como la variación de la información sobre la demanda a medida que se avanza desde el cliente final hasta el proveedor [1]. Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado porque la distorsión sobre la información de la demanda trae como consecuencia que los eslabones de la cadena de abastecimiento se dejen engañar por los patrones de demanda amplificadas, con consecuencias financieras perjudiciales. Con el objetivo de reducir el efecto látigo y sus consecuencias, las cadenas de abastecimiento procuran mejorar sus sistemas de información, desarrollando nuevos sistemas de colaboración basados en la transmisión de información en el punto de venta tipo point-of-sale data (POS por sus siglas en inglés) hacia los miembros de la cadena de abastecimiento. Lo anterior ayuda a la reducción del efecto látigo al evitar la distorsión en la información y la amplificación en la demanda, contribuyendo de esta manera a mejorar el desempeño financiero de la cadena.

Un modelo relevante en el estudio del efecto látigo es el "juego de la cerveza" [2], el cual consta de un juego de roles en donde se pretende demostrar los problemas de coordinación que se presentan en una cadena de abastecimiento. En el modelo se observa como los retrasos en la transferencia de las órdenes y los despachos, además de la ausencia de intercambio de información son razones para provocar el efecto látigo y por lo tanto tener grandes cantidades de inventario lo cual influye en las finanzas de una empresa.

En un estudio sobre toma de decisiones en la cadena de abastecimiento [3], se analizó como la disponibilidad de información en el punto de venta (POS), el tiempo de entrega (lead time) y el patrón de demanda de los clientes, afecta la eficiencia de la cadena de abastecimiento. Se encontró que tener información sobre el punto de venta puede ser benéfico o perjudicial dependiendo del patrón de demanda, por otro lado se concluyó que tener un menor tiempo de entrega ayuda a mejorar la eficiencia de la cadena sin importar el comportamiento de la demanda.

El presente trabajo tiene como objetivo presentar un acercamiento alternativo al realizado en [3]; mediante un

modelo de simulación y teniendo como base el juego de la cerveza, se analizarán los efectos que tiene la disponibilidad de información en el punto de venta, el tiempo de entrega y el patrón de demanda sobre el desempeño de la cadena de abastecimiento. Algunos investigadores han estudiado el impacto de compartir información sobre el desempeño financiero de la cadena [4], [5], [6]; sin embargo, las mediciones que han realizado solo se enfocan en los costos logísticos, los cuales no son representativos del desempeño financiero de la cadena. Para realizar un análisis más integral y teniendo en cuenta a autores que han estudiado las finanzas en la cadena de abastecimiento [7], se considera conveniente medir el desempeño financiero con indicadores que muestren la gestión global de la cadena, estos indicadores están enfocados al manejo de activos e ingresos.

Este trabajo se basa en un modelo de simulación de una cadena de tres eslabones (tienda, mayorista y fábrica) basada en el "juego de la cerveza", en el cual se modifican los tiempos de entrega, el acceso a la información de los diferentes eslabones y el patrón de la demanda. Con respecto a [3], se trabajó con los mismos tiempos de entrega de una y dos semanas; en cuanto al acceso a la información hubo un cambio, ya que en el estudio de referencia la información estaba disponible para todos o para ninguno de los eslabones, en este documento se trabajaron adicionalmente escenarios en donde solo el fabricante tuviera POS o solo el mayorista lo tuviera. Por último, se utilizaron los mismos datos y patrones de demanda utilizados en el estudio base [3].

Encontramos que el acceso a la información ayuda en la mejora del desempeño financiero de los eslabones y la cadena en su globalidad, exceptuando la tienda, la cual no mostró una variación en los resultados al variar los escenarios. Se concluyó que el mejor rendimiento para cada uno de los eslabones se obtenía cuando el mayorista era el único en tener acceso a la información, sin embargo, para tener un rendimiento en la totalidad de la cadena se debía tener compartida la información tanto en la fábrica como en el mayorista.

En nuestra investigación, a diferencia del estudio base, no se encontró que el patrón de demanda tuviera un efecto sobre el desempeño financiero de los eslabones y la cadena de abastecimiento, ya que el comportamiento era el mismo para los diferentes tipos de demanda. Por otra parte, se coincidió con el estudio de referencia en los beneficios de tener un menor tiempo de entrega y recibo de órdenes.

## II. METODOLOGÍA

Para el estudio se elaboró un modelo con una cadena de abastecimiento de tres niveles siguiendo la estructura básica planteada en [2], (fábrica, mayorista y tienda) y se evaluaron cuatro indicadores diferentes: el ROA (Return On Assets), Ingresos Acumulados, Valor Inventario Acumulado e Inconformidades. El modelo base representa un escenario en donde se tiene un tiempo de respuesta a la demanda de dos semanas y entre los diferentes eslabones de la cadena no hay intercambio de información, esto quiere decir que la demanda real solo la conoce la tienda.

El horizonte de simulación utilizado en el estudio fue de 36 semanas y con el último dato de cada simulación se realizaron los respectivos análisis, ya que todos los indicadores son acumulativos. Se llevaron a cabo simulaciones utilizando tres tipos de demanda (incluida la demanda base) y utilizando tiempos de entrega de dos (base) y una semana para cada tipo de demanda.

### A. Tipos de Demanda

Se utilizaron tres tipos de demanda: a) en escalón (SU), la cual consistía en tener 30 unidades de demanda las cuatro primeras semanas y luego aumentar hasta 60 unidades hasta la semana 36; b) demanda en S (SSE), se trabajó con los datos utilizados en [3], comenzando con 20 unidades en la semana uno y aumentando gradualmente hasta estabilizarse en 90 unidades en la semana 33; y finalmente, c) demanda en S con error (SCE), la cual utiliza los mismos datos que la anterior pero incluyendo un error, generado mediante una función normal con media cero y desviación estándar de seis unidades.

### B. Tiempos de Entrega

En el estudio se utilizaron 2 tiempos de entrega, de 1 semana (LT1) y 2 semanas (LT2).

### C. Escenarios de Acceso a la Información

Para este estudio se realizaron cuatro escenarios de simulación, el primero consistía en no tener disponible el sistema POS para la fábrica ni para el mayorista. En el segundo escenario solo el mayorista tenía acceso al sistema POS. Para el tercer escenario el que tenía disponible el sistema POS era la fábrica. Para el último escenario tanto la fábrica como el mayorista utilizaban el sistema POS.

### D. Indicadores

- ROA (Return On Assets): En este estudio se calculó el ROA para la tienda, fábrica, mayorista y

la cadena. Este indicador se calculó dividiendo los ingresos acumulados entre el valor del inventario acumulado para cada eslabón y para la totalidad de la cadena.

- **Ingresos Acumulados:** Los ingresos son el resultado de multiplicar los despachos por el precio de venta, el cual para la tienda es de \$100 por unidad, para el mayorista es de \$90 y para la fábrica es de \$80. Los ingresos son acumulados porque se va sumando el valor del ingreso de la semana anterior con el valor de la semana actual, lo anterior para cada eslabón. Los ingresos acumulados de la cadena son la suma de los ingresos de los tres eslabones.
- **Valor Inventario Acumulado:** El valor del inventario se calcula mediante la multiplicación del inventario por el precio de venta en cada escalón (los precios de ventas son los ya mencionados en los ingresos acumulados). Para el caso del valor del inventario acumulado de la cadena, es la suma del inventario acumulado de cada eslabón. El valor del inventario es acumulado ya que se va sumando el valor del inventario de la semana anterior con el de la semana actual.
- **Inconformidades:** Se considera una inconformidad cualquier despacho inferior al 85% de lo pedido por el cliente.

### III. ESTRUCTURA DEL MODELO

El modelo representa una cadena de abastecimiento de tres niveles (Fábrica, mayorista y tienda), la cual simula el juego de la cerveza y los niveles que tenía la cadena del artículo base [3]. En nuestro modelo, la estructura para cada eslabón de la cadena, así como la regla de decisión para definir el monto de las órdenes de compra al proveedor, siguen la estructura y regla de decisión propuesta en [8] y descrita en la Fig. 1. Es importante resaltar que se realizaron cambios a la estructura, entre los cuales está la introducción de nuevas variables y la omisión de algunas.

La Fig. 1 muestra la estructura de control de inventarios cuando no hay retrasos en la adquisición de los pedidos. La estructura se divide en dos partes, por un lado está el abastecimiento y flujo, y por otro la regla de decisión. Para la estructura de abastecimiento y flujo se tiene que el Inventario está determinado por unas Entradas (pedidos que llegan) y unas salidas o Despachos, los despachos se ven afectados por unas Variables Endógenas y Exógenas. En cuanto a la regla de decisión, esta depende del Ajuste de Inventario, el cual

depende del Inventario Deseado, el cual puede ser entendido como la cantidad de producto que se quiere tener. Por otra parte, la Tasa Esperada de Despachos hace referencia al ritmo al cual se espera que se consuman las existencias. Finalmente, las Órdenes de compra/Producción serán las que indiquen el monto a pedir y dependerán del Ajuste del Inventario y la Tasa Esperada de Despachos.

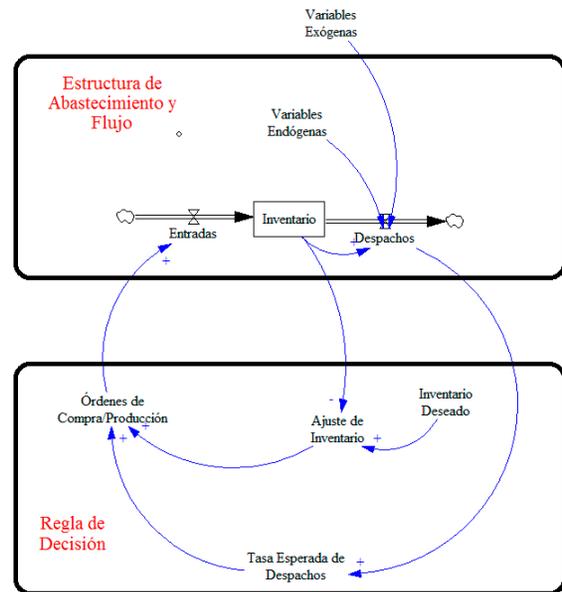


Figura 1. Estructura para manejo de inventarios cuando no hay retrasos en la adquisición de los pedidos.

En la Fig. 2 se muestra el modelo de decisión para la fábrica. El Inventario Deseado de la Fábrica depende por una parte de la Política de Inventario, la cual representa las semanas de demanda presupuestada que la fábrica desea tener para responder a cambios en la demanda; por otra parte, depende de las Órdenes Esperadas por parte del Mayorista, las cuales para el modelo serán iguales al pedido del mayorista de la semana inmediatamente anterior (no se utiliza una técnica de pronóstico). El Ajuste del Inventario se entiende como la diferencia entre el Inventario Deseado y el inventario que se tiene, si el resultado es positivo se decide emitir una orden de producción equivalente al ajuste del inventario; por otro lado, cuando el resultado es negativo el modelo está diseñado para que no se abra ninguna orden de producción.

Finalmente las Órdenes de Producción una vez transcurrido el Ciclo de Manufactura, aumentan el Inventario de la Fábrica y los despachos van al flujo de salida del fabricante.



#### IV. RESULTADOS

##### A. Impacto de la Información en Cada uno de los Eslabones.

La Fig. 5 muestra el ROA para cada uno de los eslabones y para la cadena en los diferentes escenarios de acceso a la información. Se puede observar que la tienda siempre obtiene el mismo resultado, por lo tanto es indiferente a si se tiene o no un sistema de información. Por otra parte se encuentra que el mayorista es el miembro que debería tener el POS, ya que se obtienen, en general, buenos resultados en los distintos escenarios; es importante resaltar que si se desea un beneficio en toda la cadena, el POS en ambos eslabones (mayorista y fábrica) brinda los mejores resultados, también se debe tener en cuenta que representa una mayor inversión tener POS en ambos miembros.

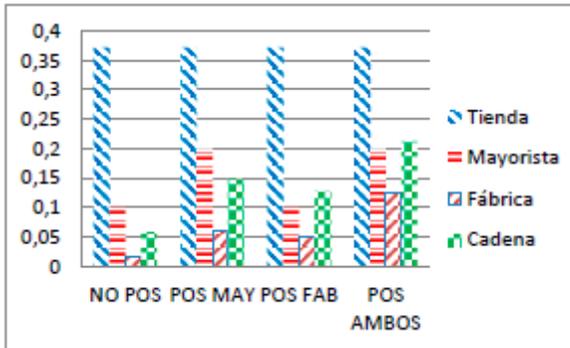


Figura 5. ROA para los eslabones y la cadena del escenario base.

La Fig. 6 muestra los ingresos para cada uno de los eslabones y para la cadena en los diferentes escenarios de acceso a la información. Como en el caso del ROA, la tienda no se ve afectada por el acceso a la información y obtienen el mismo resultado en todos los escenarios. Los ingresos en el mayorista no presentan una gran variación, como si sucede en la fábrica la cual, de manera contraintuitiva, presenta los menores ingresos cuando tiene acceso a la información. Finalmente, para la cadena los mayores ingresos se presentan cuando el POS está en el mayorista.

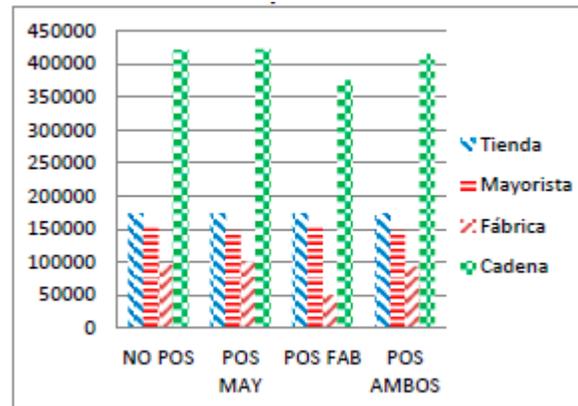


Figura 6. Ingresos para los eslabones y la cadena en el escenario base.

La Fig. 7 muestra el valor acumulado del inventario para cada uno de los eslabones y para la cadena en los diferentes escenarios de acceso a la información. Al igual que en los anteriores indicadores la tienda no presenta reacción al acceso a la información. A diferencia de los anteriores indicadores, en éste se logra observar con mayor facilidad el impacto de la información, ya que el valor acumulado del inventario disminuye para todos los nodos de la cadena, con excepción de la tienda, cuando hay acceso a la información en comparación con el escenario donde no hay acceso a la información.

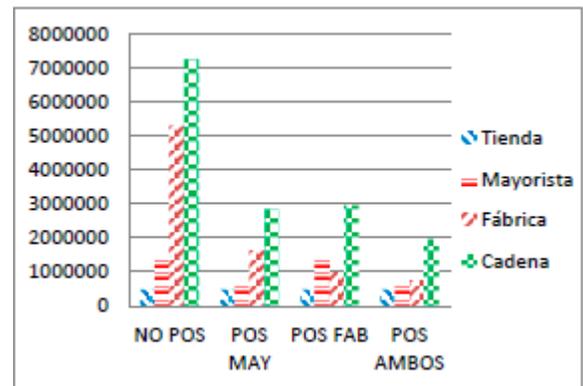


Figura 7. Valor acumulado del inventario para los eslabones y la cadena del escenario base.

La Fig. 8 muestra las inconformidades acumuladas para cada uno de los eslabones y para la cadena en los diferentes escenarios de acceso a la información. Se presentan menores inconformidades en la cadena cuando no hay POS, seguido por el escenario en el cual solo el mayorista tiene el POS. La tienda presenta el mismo comportamiento de los anteriores indicadores, mientras el mayorista presenta menores inconformidades al no haber POS en ninguna parte o

tenerlo en la fábrica y a la fábrica le conviene que el POS lo tenga el mayorista.

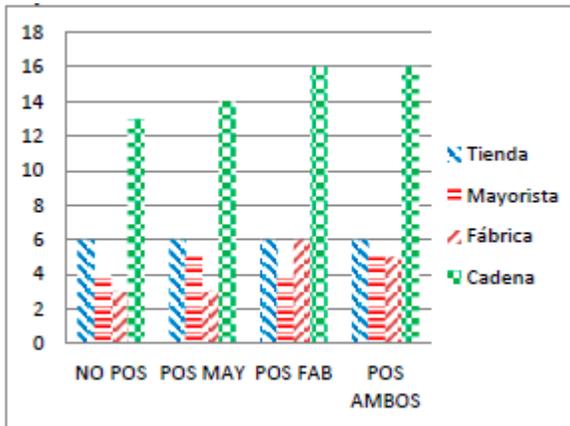


Figura 8. Inconformidades para los eslabones y la cadena del escenario base.

B. Impacto del Patrón de Demanda y Tiempo de Entrega  
Se analizaron los cambios porcentuales que hay entre cada uno de los escenarios de acceso a la información. Se compararon los escenarios donde hay información en algún punto o en ambos contra el escenario donde no hay POS, este análisis se realizó con los indicadores para la totalidad de la cadena. La fórmula para la medición de los cambios porcentuales es la siguiente:

$$\text{Cambio Porcentual} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \quad (1)$$

Donde  $V_1$  es el valor para el escenario donde no hay POS y  $V_2$  es el valor para los distintos escenarios de acceso a la información.

A continuación se describen los resultados en cada uno de los indicadores:

**ROA:** encontramos que con un tiempo de entrega de dos semanas, todos los tipos de demandas presentan un comportamiento en el cual el ROA más alto se presenta cuando la información la tienen mayorista y fábrica al mismo tiempo, el menor ROA se presenta cuando solo la fábrica tiene la información.

Por otra parte, con un tiempo de entrega de una semana los resultados son diferentes, tanto en el comportamiento como en la proporción de los cambios que se producen respecto al escenario donde no hay POS. Para todas las demandas el ROA más alto se presenta cuando la información está en ambos eslabones y el más bajo cuando el POS lo tiene el mayorista. Se encontró que al reducir el tiempo de

entrega el impacto de la información se reduce independientemente del patrón de demanda. Lo anterior se muestra en las Fig. 9, Fig. 10 y Fig. 11.

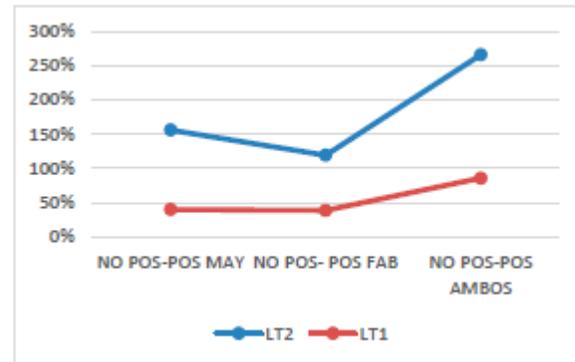


Figura 9. Variación del ROA para la demanda escalón.

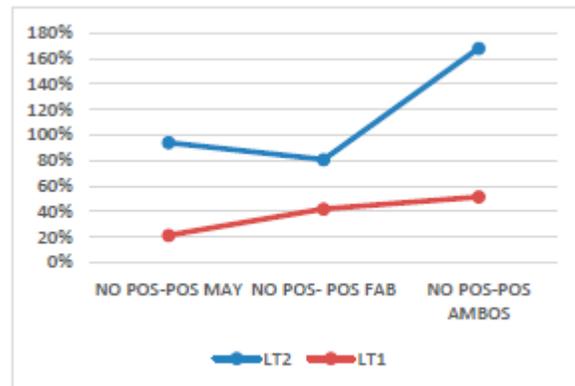


Figura 10. Variación del ROA para la demanda S.

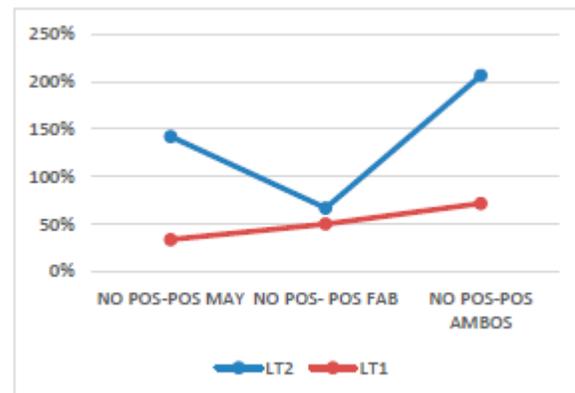


Figura 11. Variación del ROA para la demanda S con error.

Ingresos Acumulados: encontramos que al tener un tiempo de entrega de dos semanas, todas las demandas presentan el mismo patrón de comportamiento, siendo el escenario donde el mayorista tiene acceso a la información el único con variación positiva, lo cual indica que los ingresos fueron mayores a los del escenario donde no hay POS. Se presentan los menores ingresos cuando solo la fábrica tiene el POS.

Por otra parte, con un tiempo de entrega de una semana los resultados responden de manera diferente dependiendo de la demanda y se obtienen menores ingresos en todos los escenarios. Los ingresos cuando la demanda es tipo escalón siguen el mismo patrón de las demandas con tiempo de entrega de dos semanas; sin embargo, la variación es mayor con respecto al escenario donde no se comparte información. Para las demandas S y S con error, la variación también es negativa indicando menores ingresos; sin embargo, para estas demandas cuando solo la fábrica tiene el POS se presenta la menor variación y por lo tanto es cuando menos se pierden ingresos. Para estas demandas los menores ingresos se presentan cuando ambos eslabones tienen POS. Lo anterior se muestra en las Fig. 12, Fig. 13 y Fig. 14.

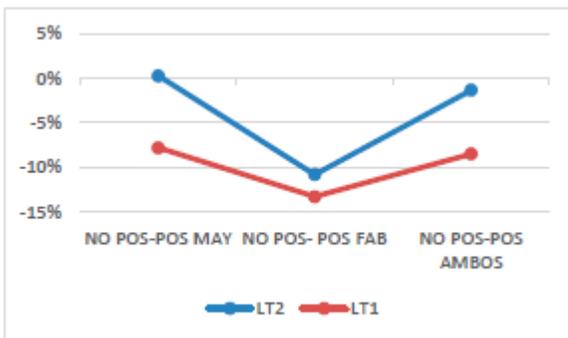


Figura 12. Variación de los ingresos acumulados para la demanda escalón.

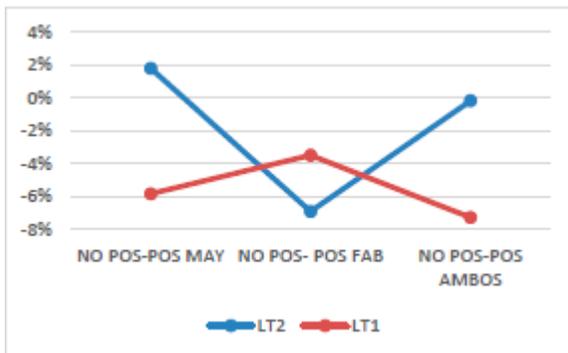


Figura 13. Variación de los ingresos acumulados para la demanda S.

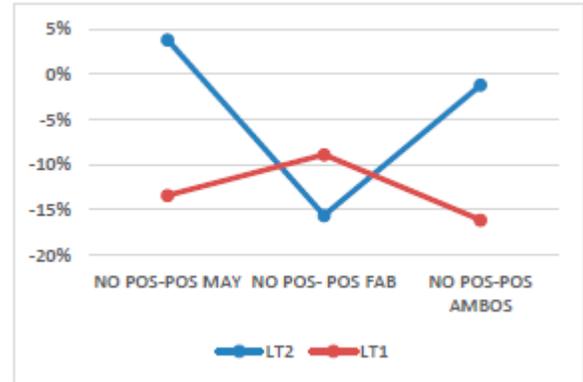


Figura 14. Variación de los ingresos acumulados para la demanda S con error.

Valor Acumulado del Inventario: Encontramos que el valor acumulado del inventario presenta un comportamiento diferente dependiendo del tipo de demanda y el tiempo de entrega. Con un tiempo de entrega de dos semanas, el valor acumulado del inventario de las demandas tipo escalón y S con error es menor al tener el POS en mayorista y fábrica al tiempo; cuando solo la fábrica tiene acceso a la información se presenta el mayor valor. Por otro lado, el valor acumulado del inventario para la demanda S es menor cuando el POS está en ambos, y es mayor cuando el mayorista es el único en tener acceso a la información. Es importante resaltar que la variación es negativa para todos los escenarios, lo cual indica que al implementar sistemas de información baja el valor del inventario acumulado.

En cuanto al tiempo de entrega de una semana, el comportamiento del valor del inventario es igual para los tres tipos de demanda. Cuando ambos (fábrica y mayorista) tienen POS se presenta menor valor acumulado del inventario y el mayor valor se tiene cuando el mayorista tiene POS. Para la demanda S el impacto (variación con respecto al escenario donde no se tiene acceso a la información) del acceso a la información fue mayor al tener un tiempo de entrega de dos semanas como se venía presentando en los anteriores indicadores; sin embargo, en las demandas escalón y S con error el impacto de la información fue mayor cuando el tiempo de entrega era de una semana. Lo anterior se muestra en las Fig. 15, Fig. 16 y Fig. 17.

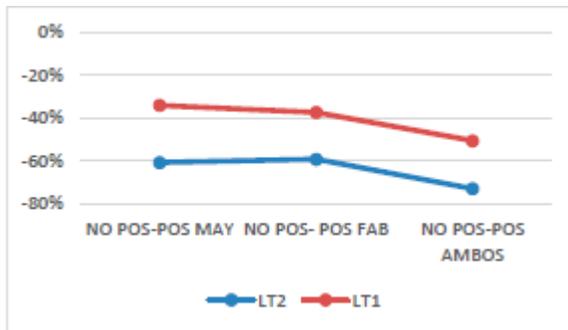


Figura 15. Variación del valor acumulado del inventario para la demanda escalón.

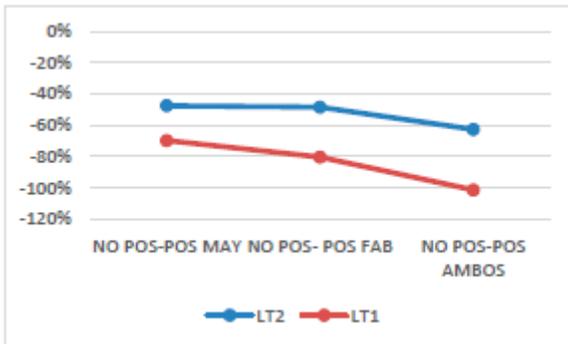


Figura 16. Variación del valor acumulado del inventario para la demanda S.

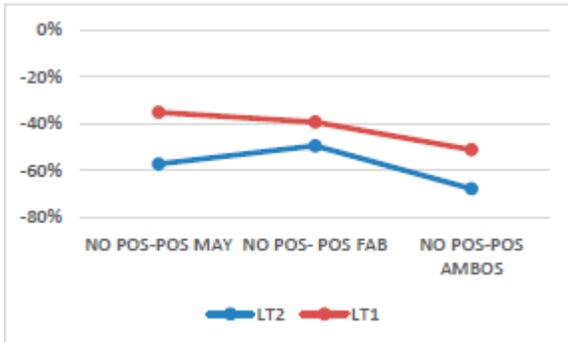


Figura 17. Variación del valor acumulado del inventario para la demanda S con error.

Inconformidades: Encontramos que al tener un tiempo de entrega de una semana, todos los tipos de demanda presentan el mismo comportamiento, es decir, que las inconformidades son mayores cuando ambos (fábrica y mayorista) tienen el POS. El escenario donde se presenta el menor número de inconformidades es cuando el POS está en la fábrica.

Cuando se tiene el tiempo de entrega de dos semanas, para los tres tipos de demanda el escenario que mayor número de inconformidades presenta es cuando el sistema POS está en ambos eslabones. Tanto para la demanda escalón como para la S, el escenario que tiene

el menor número de inconformidades es el del POS en el mayorista. Para la demanda S con error, el que presenta el menor número de inconformidades con respecto a no tener POS, es aquel en el que solo la fábrica tiene acceso a la información. Lo anterior se muestra en las Fig. 18, Fig. 19 y Fig. 20.

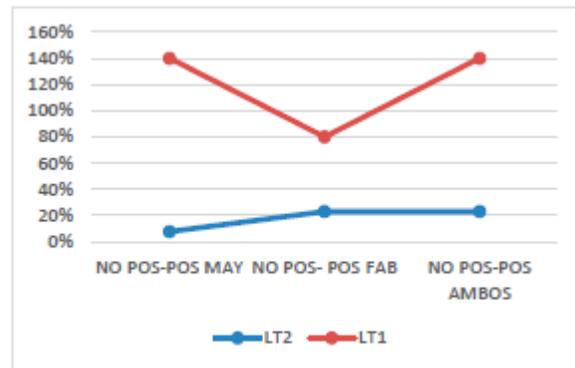


Figura 18. Variación de las inconformidades para la demanda escalón.

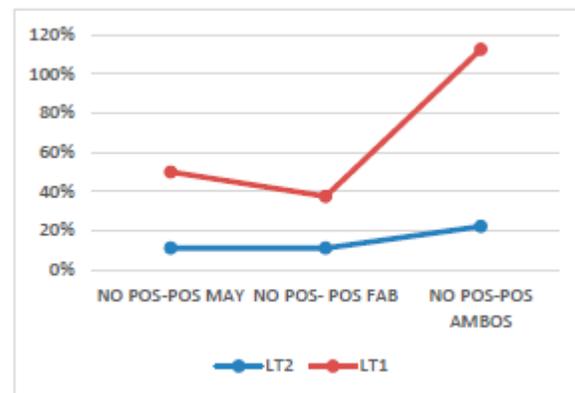


Figura 19. Variación de las inconformidades para la demanda S sin error.

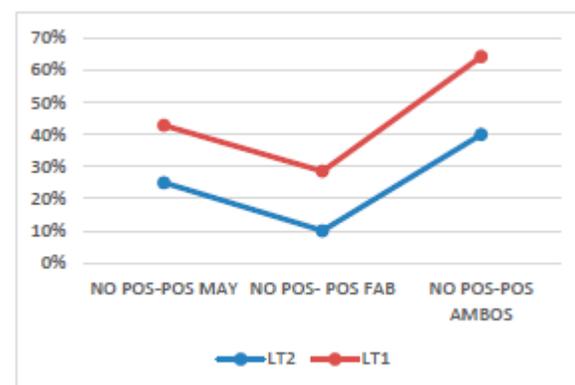


Figura 20. Variación de las inconformidades para la demanda S con error.

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos estudiado la toma de decisiones en los diferentes eslabones de una cadena de abastecimiento, con el soporte de un modelo de simulación usando dinámica de sistemas. Basados en el estudio realizado por otros investigadores [3] sobre la toma de decisiones en la cadena de suministro, analizamos un modelo del "juego de la cerveza" bajo diferentes condiciones de demanda, tiempo de entrega y acceso a la información. Específicamente, evaluamos cómo el desempeño financiero y de servicio de la cadena de abastecimiento se ve afectada por los factores anteriormente descritos.

Con respecto al estudio base, es importante resaltar que en el nuestro se trabajó adicionalmente con acceso a la información solo en la fábrica o solo en el mayorista. A diferencia del estudio [3] en el cual se concluyó que el compartir información solo beneficia a la cadena dependiendo de la demanda, en el nuestro se concluyó que sin importar el patrón de la demanda el compartir información trae beneficios y que los mejores resultados, en general, se dan cuando solo el mayorista tiene acceso a la demanda del cliente final.

Con respecto al tiempo de entrega, los resultados coinciden con los hallazgos del estudio base. Al disminuir el tiempo de entrega se mejoran los indicadores sin importar el tipo de demanda, ya que el ROA aumenta, los ingresos aumentan, el valor acumulado del inventario disminuye y las inconformidades disminuyen.

Se debe resaltar que nuestro estudio se realizó con los resultados obtenidos a través de simulaciones y no con datos recogidos en experimentos empíricos, como se hizo en el estudio base. Se deja abierta la posibilidad de validar los hallazgos de nuestro estudio mediante resultados que arrojen experimentos con decisores reales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por parte del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi.

## REFERENCIAS

[1] H. L. Lee, V. Padmanabhan y S. Whang, «The Bullwhip Effect in Supply Chains,» Sloan Management Review, vol. 38, n° 3, pp. 93-102, 1997.

[2] J. D. Sterman, «Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment,» Management Science, vol. 35, n° March, pp. 321-339, 1989.

[3] J. H. Steckel, S. Gupta y A. Banerji, «Supply Chain Decision Making: Will Shorter Cycle Times and Shared Point-of-Sale Information Necessarily Help?,» Management Science, vol. 50, n° 4, pp. 458-464, 2004.

[4] K. Sari, «On The Benefits of CPFR and VMI: A Comparative Simulation Study,» International Journal of Production Economics, vol. 113, pp. 575-586, 2008.

[5] P. Danese, «Collaboration Forms, Information and Communication Technologies, and Coordination Mechanisms in CPFR,» International Journal of Production Research, vol. 44, n° 16, pp. 3207-3226, 2006.

[6] O. Carranza y A. B. Maltz, «Understanding the financial consequences of the bullwhip effect in a multi-echelon supply chain,» Journal of Business Logistics, vol. 31, n° 1, pp. 23-40, 2010.

[7] D. Bowersox, D. J. Closs y M. B. Cooper, Supply Chain Logistics Management, New York: Irwin McGraw-Hill, 2002.

[8] J. Sterman, «Supply Chains and the Origin of Oscillations,» de Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling For a Complex World, Boston, McGraw-Hill Higher Education, 2000, pp. 663-708.



**FERNANDO ARENAS** is professor of System Dynamics at Universidad Icesi (Cali-Colombia). He received a MSc degree in Environmental Engineering from Universidad Nacional de Colombia, in 1990, and is a PhD student in Business Administration at Universidad de Valencia (Spain). His current research interest is the study of managerial decision making through simulation and micro-worlds



**ANDRÉS CARDONA** is a student of industrial engineering at Universidad Icesi. He is part of the group of researchers from system dynamics, investigates decision making in the supply chain.



**Sebastian López** is a student of industrial engineering at Universidad Icesi. He is part of the system dynamics group of the university. He is dedicated to investigate the decision-making in the supply chain.



## 50. CONSTRUCCIÓN DE VÍAS Y CONGESTIÓN VIAL: UNA RELACIÓN QUE GENERA EFECTOS CONTRA-INTUITIVOS

**ING. JUAN SEBASTIÁN ANGARITA ZAPATA, MSC. HUGO HERNANDO. ANDRADE SOSA., PHD JORGE ANDRICK PARRA VALENCIA**

Universidad Industrial de Santander – UIS, Calle 9 # 27 Bucaramanga, Santander, Colombia.  
Universidad Autónoma de Bucaramanga - UNAB, Av 42 # 48-11 Bucaramanga, Santander, Colombia.  
juan.angarita1@correo.uis.edu.co, handrade@uis.edu.co, andrick.parra@gmail.com

### ABSTRACT

Traffic congestion is a phenomenon that negatively influences on economic, social and environmental elements of the urban context. A common policy to decongest mobility is road construction. However, there are statistical evidence that shows how building more roads induces more transport demand, and consequently mobility is saturated again, simultaneously with the lost of invested budgets. This paper builds a system dynamics model to explain the structural complexity of induced travel demand. Simulation results show two medium- and long-term induced travel effects after road construction; one of them is the increase of vehicle use, and another is the increment of kilometers traveled for the fleet in use, respectively. These complement previous econometrics results where linear correlations do not explain the complex and dynamic induced travel behavior using feedback structures.

**KEYWORDS:** traffic congestion, road construction, induced travel demand, system dynamics.

### RESUMEN

La congestión vial es un fenómeno que influye negativamente sobre elementos económicos, sociales y ambientales del contexto urbano. Una política común para hacer frente a ellos es la construcción vial para mejorar la movilidad. Sin embargo, existe evidencia estadística que muestra como la construcción de más vías induce una mayor demanda de transporte y en consecuencia, la movilidad se satura nuevamente. Este trabajo construye un modelo para explicar la complejidad estructural de la demanda inducida de transporte de vehículos privados. Los resultados de simulación muestran dos tipos de demanda inducida a mediano y largo plazo, en el aumento del uso de vehículos privados y el incremento en los kilómetros recorridos por el parque automotor en uso, respectivamente. Esto complementa resultados econométricos previos donde correlaciones lineales no explican el complejo y dinámico comportamiento del transporte inducido usando estructuras de realimentación.

**PALABRAS CLAVE:** congestión vial, construcción vial, demanda inducida de transporte, dinámica de sistemas.

### I. INTRODUCCIÓN

La congestión vial es un fenómeno que influye negativamente sobre las necesidades de movilidad en una población. Elementos económicos, sociales y ambientales en contextos urbanos son afectados cuando desplazamientos vehiculares en la malla vial son realizados gastando más tiempo de lo usual [1]. Estos retrasos de tiempo afectan la productividad económica debido al incremento en los costos de

transporte, lo cual, conduce a aumentos en los costos generales de producción del sector industrial [2]. Además, elevados tiempos de desplazamiento influyen de forma negativa la calidad de vida de la población y el medio ambiente. En primer lugar, dificultades en la movilidad interfieren en la búsqueda y consecución de oportunidades de desarrollo humano como trabajo, salud y educación [3]. Mientras que impactos ambientales son generados por emisiones de vehículos usando combustibles fósiles que circulan en

las vías, que finalmente incrementa la polución más aún cuando los desplazamientos son afectados por la congestión vial [4] [5].

Por lo tanto, diferentes políticas actualmente son puestas en marcha para mejorar la movilidad principalmente intentando reducir la congestión vial. Ejemplo de ello, son las medidas financieras orientadas al cobro de impuestos por circulación en horas picos como caso particular entre las políticas de tipo financiero [6]. Por otra parte, se encuentra la construcción vial como estrategia en contextos urbanos enfocada a ampliar la infraestructura de transporte para descongestionar la movilidad. A pesar de sus elevados requerimientos económicos, esta política conlleva a disminuir los tiempos de viaje y así, contribuye a satisfacer las necesidades económicas y sociales de desplazamiento en contextos urbanos.

Sin embargo, expertos en transporte e investigadores científicos han discutido cómo la construcción de más vías es una política que induce mayor demanda de transporte [10, 11]. Esto ha sido investigado utilizando modelos econométricos que plantean correlaciones positivas entre el número de kilómetros construidos y los kilómetros recorridos por vehículos. De esta forma, nuevas vías son saturadas gradualmente después de su construcción por volúmenes de tráfico crecientes [1, 12, 13, 14].

Aunque desarrollos teóricos y empíricos confirman la codependencia entre expansión vial y kilómetros recorridos por vehículos, la demanda inducida de transporte no se puede limitar a una relación lineal de causa y efecto. Por lo tanto, el propósito del presente trabajo es la construcción de un modelo con dinámica de sistemas como hipótesis dinámica para explicar la complejidad causal subyacente a este fenómeno contraintuitivo.

## II. ANTECEDENTES DE MODELADO Y SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS EN FENÓMENOS DE TRANSPORTE DESARROLLADOS POR EL GRUPO SIMON DE INVESTIGACIÓN.

En los trabajos realizados por el grupo SIMON en el área de infraestructura y transporte que han incentivado el desarrollo de este artículo, se cita el modelo desarrollado en el libro de pensamiento sistémico que evalúa políticas de inversión y reparación de infraestructura vial urbana [8]. Esto, se suma al trabajo realizado por Andrade, Lince & Parra [19], quienes

elaboraron un modelo con dinámica de sistemas que integra componentes seleccionados del ámbito socioeconómico, ambiental y desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación; para ilustrar los aspectos relevantes del impacto que el Corredor Bioceánico Ferroviario Central tendría sobre la producción, la inversión social, el medio ambiente y la calidad de vida en Bolivia. Además del trabajo elaborado por Angarita, Andrade & Parra [20], donde se construyó un modelo dinámico sistémico que profundiza en la comprensión de los impactos ambientales que la construcción de infraestructura vial trae consigo.

## III. MÉTODO

Aproximadamente hace dos décadas empezó a incursionar el paradigma dinámico sistémico para el estudio de fenómenos en transporte. Fue Khaled Abbas en su artículo titulado "The use of system dynamics in modelling transportation systems with respect to new cities in Egypt" [7], quien argumentó inicialmente la pertinencia de utilizar DS para explicar y modelar fenómenos complejos de transporte. Tal complejidad, radica en la participación de diferentes elementos económicos, sociales y ambientales relacionados entre sí, no solo a través de relaciones lineales de causa y efecto, sino además, a través de influencias mutuas que conducen a la formación de cadenas cíclicas de realimentación. La combinación de efectos producidos por diferentes ciclos de realimentación conlleva a comportamientos complejos que desafían nuestras expectativas intuitivas frente al comportamiento del fenómeno que se está modelando [8].

De esta forma, utilizar DS para explicar la demanda inducida de transporte es un enfoque adecuado que permite complementar los resultados alcanzados a la fecha con modelos econométricos. Ya que las relaciones unidireccionales de causa-efecto establecidas previamente por enfoques estadísticos, pueden ser utilizadas como base para construir estructuras de realimentación que expliquen la complejidad y dinamismo de la demanda inducida de transporte.

Los autores del presente trabajo adoptan una visión dinámico sistémica para abordar la interacción entre kilómetros construidos de vías y vehículos que circulan por la malla vial. Lo anterior, debido a que dinámica de sistemas como paradigma de pensamiento, y metodología de modelado y simulación, otorga herramientas para representar características

fundamentales de fenómenos de transporte, tales como ciclos de realimentación, retardos y relaciones no lineales. De igual forma, la construcción del modelo de simulación, está orientado por la metodología de los "Cinco Lenguajes" (Figura 1) que el grupo SIMON de investigación propone en su libro de pensamiento sistémico [8].

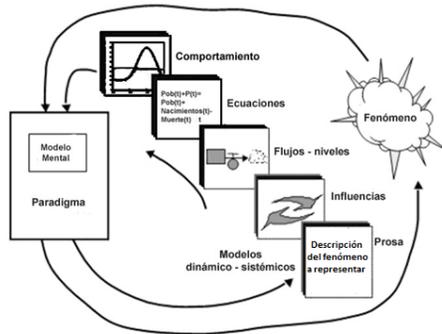


Figura 1. Metodología de los cinco lenguajes para modelado y simulación con Dinámica de Sistemas [8].

#### IV. RESULTADOS

##### A. Lenguaje en prosa del modelo propuesta

Diferentes ciudades alrededor del mundo han asumido la construcción de vías como política dominante para mitigar la congestión vial. Ello ocurre paralelamente con una demanda creciente de vehículos privados estimulada por diferentes factores económicos y sociales. Con lo cual, elevadas tasas de motorización (números de vehículos por cada 1000 personas) en contextos urbanos hacen parecer que la ampliación de infraestructura vial no pudiera lidiar con una demanda creciente de vehículos.

De esta forma, en ciudades donde los vehículos privados son el medio de transporte predominante, la construcción de más vías es posible que no tengan los efectos esperados sobre la reducción de la congestión. Ya que acorde a la evidencia suministrada por enfoques econométricos, la existencia de nuevas vías induciría una mayor demanda de vehículos privados y así, los recursos destinados a esta política vial podrían perderse.

Por lo tanto, el propósito del modelo a construir es suministrar una hipótesis dinámica que puede explicar el comportamiento contra-intuitivo de la demanda inducida de transporte cuando se construyen más vías para reducir la congestión. Además, en esta versión del modelo construido no se tienen en cuenta medios alternativos de transporte, y los beneficios de movilidad

que inducen mayor demanda de vehículos privados, son tiempos de viaje y velocidades de desplazamiento.

##### B. Diagrama de influencias

La hipótesis dinámica planteada por los autores se observa en la Figura 2.

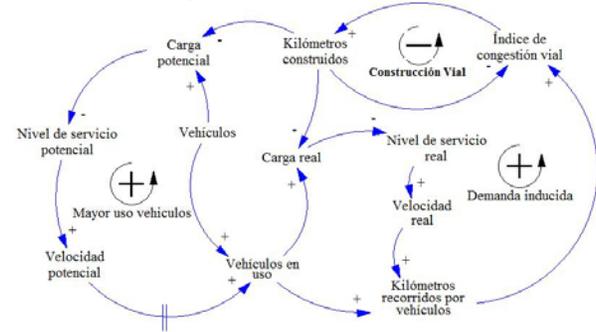


Figura 2. Hipótesis dinámica.

A continuación, los autores dan una descripción puntual de las variables usadas en la hipótesis dinámica, junto con sus respectivas unidades:

- **Kilómetros construidos:** representa el tamaño de la infraestructura vial de transporte en términos de kilómetros lineales construidos. [Unidades: kilómetros].
- **Vehículos:** representa el parque automotor disponible. [Unidades: vehículos].
- **Carga potencial:** representa una proporción de densidad potencial entre el parque automotor disponible y los vehículos que los kilómetros construidos pueden soportar a un flujo promedio de 3200 vehículos/hora en vías de dos carriles, y a una velocidad de servicio definida para las vías [24]. Como resultado de la proporción, se obtiene un índice adimensional entre cero y uno al cual se le pueden asignar diferentes niveles de servicio para la malla vial construida. Valores cercanos a uno representan congestión vial, y valores cercanos a cero son sinónimo de movilidad descongestionada. [Unidades: adimensional].
- **Nivel de servicio potencial:** representa un rango de condiciones de operación de la malla vial que varían en función de la carga potencial. Según el valor obtenido en la carga potencial, se asigna un rango de velocidades de viaje estimadas acorde a las condiciones de flujo correspondiente a cada nivel de servicio definido. [Unidades: adimensional].
- **Velocidad potencial:** representa la velocidad potencial promedio a la cual los vehículos pueden

desplazarse en función del nivel de servicio potencial reportado. [Unidades: kilómetros/hora].

- **Vehículos en uso:** representa los vehículos en uso del parque automotor disponible que circulan por las vías, inducidos por la velocidad de desplazamiento potencial. [Unidades: vehículos].
- **Carga real:** representa una proporción de densidad real entre los vehículos en uso y los vehículos que los kilómetros construidos pueden soportar a un flujo promedio de 3200 vehículos/hora en vías de dos carriles y a una velocidad de servicio definida para las vías [24]. Como resultado de la proporción, se obtiene un índice adimensional entre cero y uno al cual se le asignan niveles de servicio para la malla vial construida. Valores cercanos a uno representan congestión vial, y valores cercanos a cero son sinónimo de movilidad descongestionada. [Unidades: adimensional].
- **Nivel de servicio real:** representa un rango de condiciones de operación de la malla vial (nivel de servicio) que varía en función de la carga real. Según el valor obtenido para la carga real, se asignan velocidades reales a las cuales se desplazan los vehículos en uso. [Unidades: adimensional].
- **Velocidad real:** representa la velocidad real promedio a la cual los vehículos en uso se están desplazando en función del nivel de servicio real. [Unidades: kilómetros por hora].
- **Kilómetros recorridos por los vehículos:** representa la cantidad total de kilómetros recorridos por los vehículos en uso. [Unidades: kilómetros].
- **Índice de congestión vial:** representa el estado de la movilidad en función de los kilómetros construidos y los kilómetros totales recorridos por los vehículos en uso. [Unidades: adimensional].

Las interacciones realimentadas entre las variables anteriormente descritas generan tres ciclos de realimentación. Cada uno de ellos es descrito a continuación:

**Ciclo de realimentación "Construcción vial":** este ciclo de realimentación negativa refleja la toma intuitiva de decisiones. En él, aumentar el número de kilómetros construidos reduce la congestión. De igual forma, cuando la movilidad es saturada por los vehículos en uso, mayores recursos económicos se destinan para construir más vías y así, nuevamente intentar disminuir la congestión vial.

**Ciclo de realimentación "Mayor uso vehículos":** este ciclo es de realimentación positiva. En él, aumentar los kilómetros construidos implica aumentar la capacidad de la red vial disponible. Construir más vías reduce la carga potencial con respecto a todo el parque automotor existente. Menos carga potencial conduce a un mayor nivel de servicio en las vías construidas y así, la velocidad potencial incrementa. Si la velocidad potencial incrementa, aumenta el uso de vehículos privados. Esto quiere decir, que más personas usarán vehículos del parque automotor disponible. Lo que a su vez, incrementa los kilómetros recorridos por dichos vehículos, y la congestión vial aumenta nuevamente.

**Ciclo de realimentación "Demanda inducida":** este es un ciclo de realimentación positiva. En él, construir más vías disminuye la carga real en las vías disponibles. Esto implica que hay más espacio para los vehículos ya en uso. Menos carga real conlleva a un mayor nivel de servicio que incrementa las velocidades de desplazamiento. Mayores velocidades de desplazamiento facilitan que los vehículos en uso recorran más kilómetros de lo usual. Finalmente, esto conduce a que la congestión vial incremente debido a que los vehículos en uso van a recorrer más kilómetros de vías. Así, más congestión influye más construcción de vías y esto, disminuye la carga real de las vías nuevamente.

La hipótesis dinámica descrita anteriormente genera una estructura fundamental de comportamiento como se observa en la Figura 3. En ella, se observa como la congestión vial es un "síntoma" de una problemática mayor de fondo que corresponde a la alta dependencia del vehículo privado como medio de transporte.

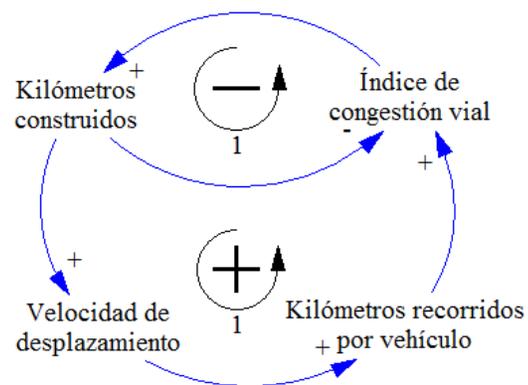


Figura 3. Ciclos de realimentación hipótesis dinámica.

**El ciclo de realimentación negativa 1,** muestra la solución a corto plazo de la movilidad mediante

construcción de más vías. En este ciclo, más vías se construyen, las velocidades de viaje incrementan, los tiempos de viaje disminuyen y finalmente se descongestiona la movilidad. Sin embargo, incrementos en las velocidades de desplazamiento inducen un mayor uso del vehículo privado tal como se observa en el ciclo de realimentación positiva 1. Este ciclo de realimentación satura nuevamente la movilidad, y el índice de congestión retorna a su estado inicial y/o a condiciones peores a como el sistema inicialmente se encontraba.

**C. Diagrama de flujos-niveles y representación matemática.**

La hipótesis dinámica presenta la explicación cualitativa para el fenómeno que está estudiando. Sin embargo, la toma de decisiones requiere de resultados cualitativos a cerca de le evolución temporal del modelo como abstracción del fenómeno objeto de estudio. Por lo tanto, es necesario transferir el diagrama de influencias a un diagrama que permita la simulación matemática y evaluación de políticas a través del tiempo.

El diagrama de flujos y niveles construido por los autores puede ser observado en la Figura 4, y sus

ecuaciones matemáticas pueden ser consultadas en el Tabla 1. Además, la construcción de este modelo de simulación fue realizada con el software Evolución 4.5.

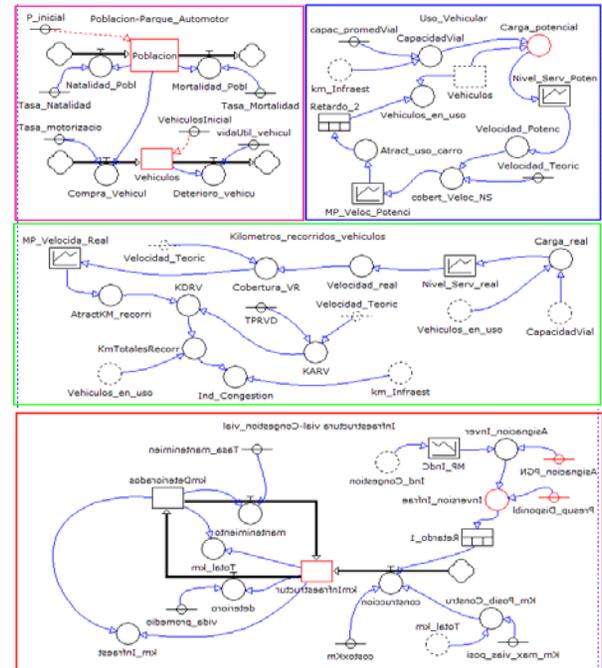


Figura 4. Diagrama de Flujos y niveles

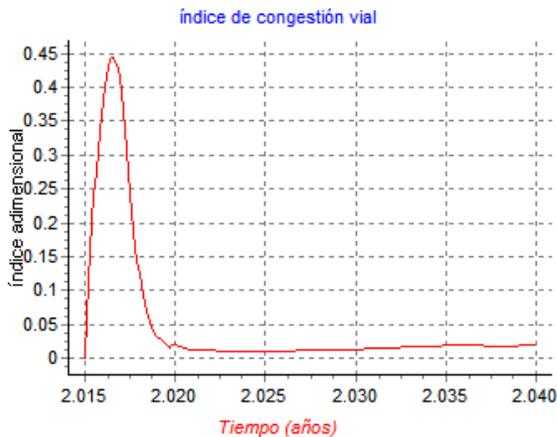
Tipo	Nombre variable	Unidades	Ecuación/Valor inicial
Niveles	Poblacion	Personas	P_inicial
	Vehiculos	Vehículos	VehiculosInicial
	kmDeteriorados	Kilómetros	0
	kmInfraestructur	Kilómetros	1319
Flujos	Compra_Vehicul	Vehículos/año	$Poblacion * Tasa\_motorizacio$
	Deterioro_vehicu	Vehículos/año	$Vehiculos/vidaUtil\_vehicul$
	Mortalidad_Pobl	Personas/año	$Poblacion * (Tasa\_Mortalidad)$
	Natalidad_Pobl	Personas/año	$Tasa\_Natalidad * Poblacion$
	PerdidaOXDensid	Kilometers/year	$OxigenoDisuelto * EfectoDensidad$
	construccion	Kilómetros/año	$MIN(Km\_Posib\_Constru, (Retardo\_1/costoxKm))$
	deterioro	Kilómetros/año	$kmInfraestructur/vida\_promedio$
	mantenimiento	Kilómetros/año	$kmDeteriorados/Tasa\_mantenimien$
Parámetros	Asignacion_PGN	Fracción porcentual	1
	P_inicial	Personas	1113522
	Presup_Disponibl	US dollars	510638297
	TPRVD	Horas	0.53
	Tasa_Mortalidad	Adimensional/año	0.0556
	Tasa_Natalidad	Adimensional/año	0.1911
	Tasa_mantenimie n	Años	0.023
	Tasa_motorizacio	Vehículos/persona	0.2
	VehiculosInicial	Vehículos	492299
	Velocidad_Teoric	Kilómetros/hora	60
capac_promedVia l	Vehículos/kilómetro	53	



producto de las influencias cíclicas planteadas en la hipótesis dinámica. Los resultados de simulación mostrados en esta sección corresponden a las variables: índice de congestión vial, velocidad de desplazamiento, vehículos en uso-parque automotor disponible y finalmente, kilómetros recorridos por los vehículos en uso.

El Índice de Congestión (IC) vial puede ser observado en la Gráfica 1. El eje Y muestra la proporción adimensional entre los kilómetros recorridos por vehículos y los kilómetros construidos de vías; mientras que el eje X muestra un horizonte de tiempo de 25 años. Durante los primeros cinco años de simulación el IC presenta sus valores más elevados. Esto debido al tiempo de retraso necesario para la culminación de las obras viales. Posteriormente, el índice decrece a valores cercanos a 0.05, lo cual indica la no presencia de congestión vial. Sin embargo, en los años finales de simulación el IC empieza a incrementar nuevamente.

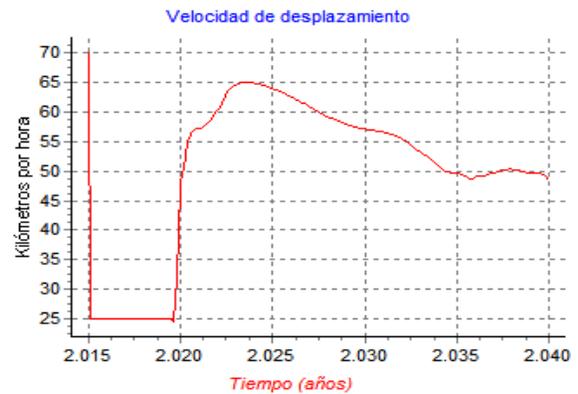
Bajos valores para el IC a partir del año 2020, implican un incremento de las velocidades de desplazamiento tal como se observa en la Gráfica 2. En los primeros años de simulación, se reportan los valores más bajos para la velocidad de viaje acorde a lo mostrado en la Gráfica 1. Sin embargo, posteriormente con el decremento en el IC la velocidad de desplazamiento aumenta.



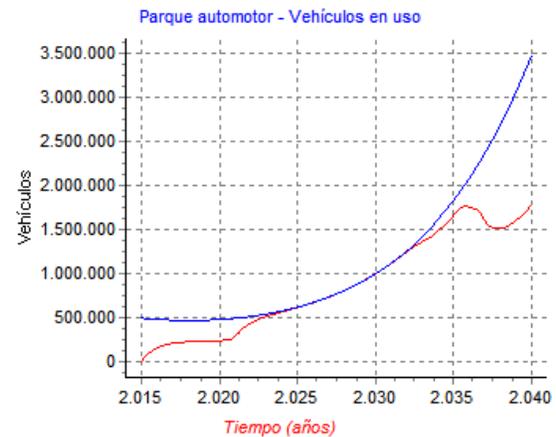
Gráfica 1. Índice de congestión vial

Elevadas velocidades de viaje inducen un mayor uso de los vehículos privados. De esta forma, más vehículos del parque automotor disponible empiezan a usar las vías construidas como se observa en la Gráfica 3. En ella, durante los primeros años de simulación cuando el IC es elevado y la velocidad de viaje es baja, el número de vehículos en uso es significativamente bajo con respecto al parque automotor disponible. Sin embargo,

con el posterior aumento de la velocidad de desplazamiento aparece el beneficio que induce un mayor uso del vehículo privado. Además, es posible observar como entre los años 2.025 y 2.032 aproximadamente, las dos curvas se superponen. Esto indica que todo el parque automotor disponible está en uso. Lo cual, corresponde con los resultados observados en la Gráfica 2 donde en ese mismo intervalo de tiempo se reportan las mayores velocidades de desplazamiento que inducen este comportamiento. Esto entonces induce un uso intensivo de los vehículos.

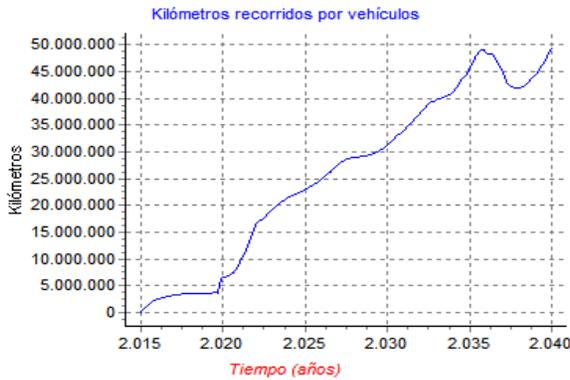


Gráfica 2. Velocidad de desplazamiento



Gráfica 3. Parque automotor y vehículos en uso

De igual forma, es importante acotar como los vehículos en uso disminuye sobre el final del horizonte de tiempo. Esto es influenciado por el leve incremento del IC observado en la Gráfica 1, que además, genera una disminución de la velocidad de viaje como lo muestra la Gráfica 2 sobre el final de su horizonte de tiempo.



Gráfica 4. Kilómetros recorridos por vehículos.

Además, en la Gráfica 4 pueden observarse los kilómetros recorridos por los vehículos en uso. En ella vemos una tendencia siempre creciente, lo cual indica que muy probablemente la congestión vial no pueda disminuir a largo plazo a pesar que más vías sean construidas. De igual forma, el crecimiento más acelerado de los kilómetros recorridos se observa en el mismo intervalo de tiempo cuando las velocidades de desplazamiento son mayores y hay más vehículos en uso. Finalmente, sobre el año 2037 de simulación, el número de kilómetros recorridos decrece en correspondencia con el decaimiento en ese mismo periodo de tiempo de los vehículos en uso.

## V. DISCUSIÓN

Con la revisión bibliográfica realizada hasta el momento por los autores de este documento no se han encontrado trabajos que con dinámica de sistemas propongan estructuras causales para explicar y modelar la demanda inducida de transporte como el incremento en los kilómetros recorridos por vehículos tras la construcción de más vías. Sin embargo, si se reportan trabajos con modelos dinámico sistémicos donde se evidencia cómo la construcción vial, influencia un incremento en volúmenes de tráfico y como consecuencia, la congestión vial retorna a su estado inicial o a un estado en peores condiciones a las que se tomaron como punto de partida [16, 17, 18].

Lo anterior, debido posiblemente a que el concepto de demanda inducida de transporte emerge en enfoques econométricos y nos sistémicos. Por lo tanto, las variables usadas para construcción de la hipótesis dinámica fueron tomadas de la revisión bibliográfica hecha en modelado de transporte y demanda inducida bajo enfoques estadísticos. Dentro de las variables seleccionadas de la literatura está el factor de carga calculado a partir de una densidad promedio de

vehículos por kilómetros construidos y los vehículos en uso [24]. Nivel de servicio como variable usada para relacionar el factor de carga real y potencial con unas condiciones de circulación para los vehículos en uso [25], además de, el índice de congestión estimado a partir de los kilómetros de vías disponibles y kilómetros recorridos por vehículos [26].

Dichas variables ya han sido definidas y testeadas con modelos econométricos mediante correlaciones lineales. De esta forma para complementar este enfoque econométrico, los autores proponen la hipótesis dinámica donde las relaciones unidireccionales definidas con las variables anteriores, son incluidas en cadenas cíclicas de influencias que conducen a la formación de la estructura realimentada.

La estructura construida permite plantear una hipótesis causal para explicar la correlación positiva entre kilómetros construidos y kilómetros recorridos por vehículos. En ella, emergen dos tipos de inducción de demanda de transporte. En primer lugar, la construcción de más vías induce que los vehículos ya en uso recorran más kilómetros con respecto a sus desplazamientos promedio. En consecuencia, los vehículos están más tiempo en las calles recorriendo las vías, y esto incrementa el índice de congestión. Por otra parte, la construcción de más vías induce un mayor uso del parque automotor. Lo anterior, se debe a que la construcción de más vías incentiva que las personas saquen sus vehículos a las calles para sumarse a los vehículos ya circulando. Con lo cual, hay un aumento adicional en el número de vehículos circulando. Esto entonces, conduce a saturar nuevamente la movilidad y en consecuencia, las velocidades de desplazamiento terminan disminuyen.

En consecuencia, a partir de la estructura de realimentación planteada es posible explicar la complejidad estructural de la demanda inducida de transporte. La cual, acorde a los resultados de simulación obtenidos está constituido por tipos de demanda inducida que a través de correlaciones lineales no sería posible explicar estructuralmente. Una de ellas, incrementa el uso de vehículos privados, y otra, incrementa los recorridos de los vehículos ya circulando en la red vial. De esta forma, es posible a través de influencias circulares explicar la emergencia de estos fenómenos contra-intuitivos entre la interacción construcción vial y congestión vehicular.

## VI. CONCLUSIONES

Acorde a la relación entre construcción vial y demanda de vehículos privados, los resultados de simulación evidencian que sociedad actual está atrapada en un sistema dinámico que la arrastra permanentemente a la congestión vial (con todos sus efectos ambientales). Esto genera además, una insaciable demanda de nuevas vías en un modelo de ciudad no sostenible. Donde la toma de decisiones tradicional se enfoca a la mitigación de la congestión a través de la construcción de más infraestructura vial.

Finalmente, la construcción de hipótesis dinámicas para explicar fenómenos contra-intuitivos como es el caso de la demanda inducida de transporte, necesita la integración de enfoques estadísticos con enfoques sistémicos. Esto permite la construcción de estructuras de realimentación más fuerte en cuantos a su proceso de validación se refiere. Lo anterior, favorece que los comportamientos simulados sean cada vez más próximos a los comportamientos observados del fenómeno y así, se fortalecen los procesos de planificación y toma de decisiones en movilidad, al otorgarles modelos que reproducen la problemática en estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelado y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la UIS. Además, se agradece la vinculación del Profesor Jorge Andrick Parra Valencia de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Estas instituciones junto con las personas que acompañan este proceso, han garantizado las condiciones para el desarrollo de la actividad investigativa que sustenta lo aquí presentado. Todo ello, en el marco del XIII Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Cartagena, Colombia, 2015. Para mayor información sobre este trabajo y demás labores del grupo SIMON: <http://simon.uis.edu.co/>.

## REFERENCIAS

[1] Noland R. B. and Lem L. L. "A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and the UK". *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 7, no. 1, pp. 1-26, 2002.

[2] Sweet M. "Does traffic congestion slow the economy?" *Journal of Planning Literature*. Vol 26, 2011.

[3] European Commission, Directorate-General for the Environment. "Reclaiming city streets for people, chaos or quality of life?"

[4] Armah F. A., Yawson D. O., and Pappoe A. "A systems dynamics approach to explore traffic congestion and air pollution link in the city of Accra, Ghana". *Sustainability*, vol. 2, no. 1, pp. 252-265, 2010.

[5] Han X., Naeher L. P. "A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world". *Environment International* 32 (2006) 106 – 120.

[6] Govinda R. T., Hari B. D. Fiscal policy instruments for reducing congestion and atmospheric emissions in the transport sector: A review. The World Bank Development Research Group. Sustainable Rural and Urban Development Team. June 2008.

[7] K. A. Abbas, "The use of system dynamics in modelling transportation systems with respect to new cities in Egypt" The 8th International Conference of the System Dynamics Society, Chestnut Hill, Massachusetts USA 1990.

[8] Andrade, Hugo et al. *Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de Unidad*. Páginas 173, 232, 233, 235. Ediciones Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2001.

[9] Hong Y., Liyin S., Yongtao T., Jianli H. "Simulating the impacts of policy scenarios on the sustainability performance of infrastructure projects". *Automation in Construction* 20 (2011) 1060–1069.

[10] Graham D. J., McCoy E. J., and Stephens D. A. "Quantifying causal effects of road network capacity expansions on traffic volume and density via a mixed model propensity score estimator". *Journal of the American Statistical Association*, vol. 109, no. 508, pp. 1440-1449, 2014.

[11] M. Hansen, "Do new highways generate traffic?" *ACCESS Magazine*, vol. 7, pp. 16-23, 1995.

[12] Hansen M., Huang Y. "Road supply and traffic in California urban areas". *Transportation Research A* 31, 205-218. 1997.

[13] Fulton L. M., Noland R. B., Meszler D. J., Thomas J. V. "A statistical analysis of induced travel effects in the US mid-Atlantic region". *Journal of Transportation and Statistics* 3 (1), 1-14. 2000.

[14] Noland R. B., Cowart W. A. "Analysis of metropolitan highway capacity and the growth in vehicle miles of travel". *Transportation* 27 (4), 363-390. 2000.

[15] Y. Barlas, "Formal aspects of model validity and validation in system dynamics" *System Dynamics Review*, vol. 12, no. 3, pp. 183-210, 1996.

[16] A. A. Elias, "Environmental conflicts, stakeholders and a shared mental model" The 24th International Conference of the System Dynamics Society. ISBN 978-0-9745329-5-0, July 23-27, 2006 Nijmegen, the Netherlands 2006.

[17] P. Pfaffenbichler, "Modelling with systems dynamics as a method to bridge the gap between politics, planning and science? Lessons learnt from the development of the land use and transport model MARS" Transport Reviews, vol. 31, no. 2, pp. 267-289, 2011.

[18] S. Shepherd, "A review of system dynamics models applied in transportation" Transport-metrics B: Transport Dynamics, vol. 2, no. 2, pp. 83-105, 2014.

[19] Andrade, H., Emiliano, L., Parra, J. "Evaluación dinámica sistémica del corredor ferroviario bioceánico central". Encuentro Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Monterrey, México, 2013.

[20] Angarita J., Andrade H., Parra J. "Impacto ambiental generado por el desarrollo de infraestructura vial-una visión dinámica sistémica". Encuentro Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Alajuela, Costa Rica, 2014.

[21] Observatorio Metropolitano de Bucaramanga. "Sustentabilidad Ambiental Urbana, Movilidad Sustentable". 30 de junio de 2014. Disponible en: <http://www.amb.gov.co/observatorio2/indicadores/sau/Infograf%C3%ADa%208%20-%20Movilidad%20sustentable.pdf>

[22] Secretaría de Infraestructura de Bucaramanga. "Mesa de sostenibilidad urbana". Bucaramanga, Santander, 2011. Disponible en: [www.findeter.gov.co/descargar.php?idFile=210392](http://www.findeter.gov.co/descargar.php?idFile=210392).

[23] M. Aftabuzzaman. "Measuring traffic congestion - a critical review". 30th Australasian Transport Research Forum, 2007.

[24] Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, 2000.

[25] Roess, R.P., Messer, C.J., Mcshane, W.R., Fruin, J.J., Levinson, H.S. May, A.D. and Dudek, C.L. (1985) Highway Capacity Manual, Special Report 209, Washington, D.C.: Transportation Research Board.

[26] Schrank, D.; Lomax, T. 2005. The 2005 Annual Urban Mobility Report. Texas: Texas Transportation Institute. 91 p.

dinámica de sistemas. Autor de publicaciones en eventos de orden nacional e internacional en áreas de transporte urbano, medio ambiente, sistemas productivos y educación abordadas desde el pensamiento sistémico y dinámica de sistemas. Actualmente, se encuentra vinculado como investigador activo al Grupo SIMON de investigación (UIS).



Hugo Hernando Andrade Sosa. Profesor titular laureado de la Universidad Industrial de Santander UIS, en el área de pensamiento sistémico y modelado matemático y simulación de enfoque estructural. Investigador, coinvestigador y director de más de cien tesis y trabajos de grado a nivel de magíster, especialización y pregrado, así como autor de más de setenta publicaciones en diferentes eventos y medios de orden nacional e internacional, en relación con los fundamentos y la aplicación del pensamiento sistémico y en particular en modelado y simulación con dinámica de sistemas y modelado basado en objetos reglas. Es el director y fundador del Grupo SIMON de investigación (UIS), miembro de la System Dynamics Society, y miembro de la comunidad colombiana y latinoamericana de Dinámica de Sistemas.



**Jorge Andrick Parra Valencia.** Presidente de la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas. Actualmente, Profesor de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Colombia, donde es investigador asociado al Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico, UNAB. Durante los últimos años, sus labores profesionales e investigativas se han enfocado en la formulación y ejecución de proyectos de investigación, desarrollo de experimentos de simulación, y diseño de modelos para comprender y mejorar los sistemas sociales.

## AUTORES



**Juan Sebastián Angarita Zapata.** Ingeniero de sistemas graduado de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y estudiante de maestría (UIS). Investigador en el área de modelado matemático y simulación de enfoque estructural con

## 51. A SIMULATION MODEL OF RICE PRODUCTION, PROCESSING AND CONSUMPTION IN VENEZUELA

VICENTE RAMÍREZ, LUISANA GARCÍA, IXHEL MEJÍAS

Universidad de Los Andes (Bolivarian Republic of)  
ramirez.vicente@gmail.com, lgs2512300@gmail.com, ixalejandra@gmail.com

### ABSTRACT

This paper presents the construction of a simulation model of rice production, processing and consumption in Venezuela, by using the methodology of Systems Dynamics and the simulation software Vensim. The main purpose of the project was to integrate the major variables that make up the sector, in order to serve as a tool for the decision-makers of national rice production, such as the Venezuelan State and the rice producers. The stages of production and consumption were considered, since the producers decide to plant rice until it is consumed by the population. The real system was described, which was useful for the construction of the model. Once the model was verified and validated, a set of scenarios were studied to understand the sector's performance under various circumstances. As a result of the scenario analysis, it was observed that the decisions taken by the Venezuelan State regarding importation create discontent in the producers and encourage them to withdraw from the sector. In addition, it was understood how fundamental it is to provide inputs to the producers and the agroindustry, since together they determine the production. Moreover, it was understood how important it is to expand control in the country's borders in order to prevent the smuggling of this commodity.

**KEYWORDS:** rice, production, processing, consumption, System Dynamics.

### I. INTRODUCCIÓN

El arroz es el segundo grano más cultivado en el mundo, después del trigo. Tiene su origen en Asia y su cultivo data de unos 7.000 años de antigüedad. Es la fuente de alimentación de más del 40% de la población a nivel mundial. Este cereal forma parte importante de la gastronomía venezolana, lo que hace significativo el estudio de su producción en el territorio nacional.

El cultivo de arroz fue introducido en Venezuela por los españoles en la época de la Colonia, en la segunda mitad del siglo XVI. Pero es a partir de 1977 cuando se incrementa notablemente la siembra y producción de arroz en el país. De acuerdo a reportes realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), que corresponden al año 1977, Venezuela se encontró entre los países de América Latina que aportaron el 4% de la producción a nivel mundial para ese año [1].

En la actualidad, la situación ha dado un vuelco total, siendo la producción nacional de arroz insuficiente para cubrir la demanda interna de arroz, lo que da paso al

aumento de las importaciones. Por otra parte, el incentivo de los productores para generar mayor producción ha disminuido al verse desfavorecidos en términos de ganancias.

En el año 2012, la Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios de Venezuela (FEDEAGRO) indicó que al cierre del año, la cosecha quedó en 821.070 t de arroz paddy. Sobre esta base aseguró que las importaciones estaban llegando a 50% de la demanda del rubro a nivel nacional. En el año 2013, el mismo gremio informó que la producción tuvo un comportamiento favorable, al lograr 1.005.000 t de arroz paddy, lo que significó un crecimiento de 25% con respecto al año anterior. Referente al consumo de arroz en el país, el Instituto Nacional de Estadística (INE) en el primer semestre de 2014, registró la disminución de 1,51 gr/persona×día con respecto al mismo período en el año 2013, en el cual fueron consumidos 54,04 gr/persona×día. De esta manera son consumidos 52,53 gr/persona×día, es decir, 19,17 Kg anuales de arroz por persona [2].

A pesar del reciente aumento de la producción y de la disminución del consumo per cápita, no se ha logrado satisfacer la demanda, lo que genera la percepción de que las herramientas usadas actualmente para la toma de decisiones en este ámbito no son lo suficientemente eficientes para incrementar la producción de arroz. Así surgió la idea de diseñar un modelo de simulación integrado de producción, procesamiento y consumo de arroz en Venezuela, con el fin de hacer una propuesta útil a los entes gubernamentales y privados corresponsables de la toma de decisiones relativas a este rubro en el país.

El objetivo de este trabajo fue elaborar un modelo de simulación integrado de producción, procesamiento y consumo de arroz en Venezuela a través del uso de la metodología Dinámica de Sistemas.

Se empleó la metodología Dinámica de Sistemas propuesta por Forrester [3] y Sterman [4]. a) Se elaboró un modelo de simulación integrado basado en el sistema real, utilizando el software de simulación Vensim [5]. b) Para estudiar el modelo integrado, se recolectaron los datos necesarios acerca de la dinámica del sector de producción de arroz en el país y se trabajó en base a los diagramas causales de los sub-modelos.

c) Se verificó y validó el modelo integrado con la ayuda de datos históricos. d) Se diseñó un conjunto de escenarios distintos para estudiar la dinámica y generar alternativas útiles para la toma de decisiones.

## II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA REAL

### A. CULTIVO: SIEMBRA Y COSECHA

En términos agro-climáticos, el calendario agrícola se ajusta a los periodos seco y lluvioso. El período seco se extiende de octubre a marzo y el lluvioso de abril a septiembre. La mayor parte de la cosecha se concentra en los meses de marzo y abril [6]. Durante el cultivo, los cambios del clima y la infestación por plagas, malezas y/o enfermedades pueden afectar la superficie sembrada, ocasionando daños que reduzcan esa superficie al momento de ser cosechada. El porcentaje de esos daños es desconocido. Según Molina [6] la cosecha constituye el punto culminante de la producción arrocería en campo. De acuerdo con las variedades existentes en el país, el punto óptimo de cosecha ocurre, aproximadamente, entre los 120 y 130 días posteriores a la siembra.

Los productores se encargan de sembrar y cosechar arroz en el país. A nivel nacional, los productores se pueden clasificar en pequeños, medianos y grandes fundamentándose en la clasificación propuesta por Molina [7] para los productores del Sistema de Riego Río Guárico (SRRG) tomando en consideración el tamaño de las unidades promedios de explotación, la disponibilidad de medios de producción y las características socio-culturales de los productores. Los pequeños productores poseen superficies menores o iguales a 30 ha, los medianos productores poseen superficies de 30 a 50 ha y los grandes productores poseen unidades de producción que oscilan entre 100 y 150 ha.

### B. SUPERFICIE SEMBRADA Y RENDIMIENTO AGRÍCOLA DEL ARROZ

Contreras [8] señala que para la siembra del ciclo verano del periodo 2009-2010, la superficie sembrada estuvo conformada por 39.000 ha sembradas. Mientras que para el ciclo invierno del mismo año se sembraron 60.000 ha de las cuales 55% pertenecieron a Portuguesa, 30% a Guárico, 9% a Cojedes y 6% a otros estados.

En cuanto al rendimiento, es decir, la producción dividida entre la superficie cosechada, FEDEAGRO [9] reportó que en el año 2009 disminuyó aproximadamente un 15% respecto al año 2008. En el año 2010, disminuyó un 29%, en comparación con este año y un 13% con el año 2009. En el año 2011, se recuperó en 28% aproximadamente, al pasar de 4,01 t/ha en el 2010 a 5,11 t/ha ese año. En los años 2012 y 2013 disminuyó 6,5% y 21% respectivamente, en relación con el año 2011.

Venezuela ha obtenido el rendimiento más bajo de producción de arroz paddy en el año 2010 y el año con el rendimiento más alto del mismo ha sido el 2008.

### C. PROCESAMIENTO DE ARROZ EN VENEZUELA: INDUSTRIA MOLINERA

Una vez cosechado, el arroz paddy es llevado por los productores a las distintas industrias molineras o agroindustrias del país, en las cuales el producto es recibido luego de realizarle pruebas de control de calidad de acuerdo a las normativas vigentes en las gacetas oficiales y a las normas COVENIN.

Por medio de una visita técnica realizada a Alimentos Polar Comercial Planta Calabozo, Estado Guárico, se conoció la manera en que la industria molinera procesa

el arroz paddy, lo cual comienza con la recepción del arroz paddy húmedo hasta el empaquetado del arroz procesado. De acuerdo con el INN [10], de un 100% de arroz paddy, se obtiene un 64% de arroz blanco y un 36% de subproductos como cascarilla, afrecho y harina.

#### D. COMERCIALIZACIÓN

Estado – Productor: En el año 2013, el Estado venezolano instauró la política de otorgar subsidio a los productores de arroz en el país. Desde el año 2014, el precio total pagado al productor es de 8,60 Bs/Kg, de los cuales la industria paga 2,50 Bs/Kg y el restante es subsidiado por el Estado.

Productor – Agroindustria: La agroindustria constituye el comprador más importante de la producción arrocerana nacional, puesto que a ella se destina más del 90% del total del paddy producido en campo, dado que este cereal se consume casi en su totalidad como arroz blanco o pulido [6]. El Ministerio de Agricultura y Tierras (MAT) estableció un precio base al producto de 6,10 Bs. Este precio base es pagado al productor luego de que la agroindustria le ha realizado al arroz paddy los ajustes necesarios relacionados con la impureza y la humedad, en un lapso no mayor de treinta (30) días.

Agroindustria – Establecimientos a nivel nacional: Una vez que el arroz paddy ha sido procesado y acondicionado para su consumo, es distribuido desde la agroindustria hacia los distintos establecimientos ubicados a nivel nacional y ésta paga un precio al sector que opera el transporte de carga para trasladar el producto final a los anaqueles, los detalles de dicha negociación son desconocidos.

#### E. COSTOS DE PRODUCCIÓN

Los costos para un productor de un kilogramo de arroz paddy se elevan constantemente por la inflación presente en el país. En el ciclo de invierno 2012-2013, el costo de producción de una hectárea de arroz se calculó en Bs. 17.068,92. Pero el ciclo de verano 2013-2014 reportó un incremento de 35%. Esto perjudica la rentabilidad del agricultor y arriesga la recuperación que registra la producción. Así lo indicó el presidente de la Federación Venezolana de Asociaciones de Productores de Arroz (FEVEARROZ), alegando que ha habido una escalada de precios de fletes, maquinarias, repuestos, cosechadoras y otros [11].

#### F. COMERCIO ILEGAL

FEVEARROZ afirmó que a la poca oferta nacional se une el comercio ilegal del rubro a través de la frontera y

que las importaciones en buena medida están sirviendo para sostener el mercado fronterizo de Colombia con el consiguiente deterioro y distorsión del mercado nacional [12]. No se conoce con exactitud la cantidad de arroz blanco que es desviada al comercio ilícito.

#### G. IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN

Venezuela durante muchos años produjo suficiente arroz para satisfacer la demanda nacional y parte de la demanda de otros países. Sin embargo, en el presente es cada día más dependiente de las importaciones. Fue en el año 2008 cuando dejó de ser un país exportador de este rubro para convertirse en importador debido a que la producción nacional no fue suficiente para cubrir la demanda. Actualmente la única empresa que tiene permiso para importar arroz es CASA.

La importación de arroz conlleva un período de tiempo desde que el Estado Venezolano percibe el déficit hasta que es recibido en los puertos a nivel nacional, dicho período no tiene un patrón establecido. Una vez que el arroz se encuentra en los puertos es trasladado a la industria que lo procesa, sin establecer un tiempo para ese traslado.

En base a los datos proporcionados por el INE [13], las importaciones en el año 2013 aumentaron más del 50% con respecto al año anterior, al pasar de 408.726 t, en el 2012, a 924.992 t en 2013. El 2014 fue favorable en comparación con el año anterior debido a que el total de importaciones del rubro fue de 238.004 t, lo que significa que hubo una disminución en importación de aproximadamente un 75% con respecto al 2013. No obstante, en cuanto a exportaciones del rubro, se mantienen en 0%.

#### H. CONSUMO

En la Fig. 1 se muestra el comportamiento del consumo per cápita de arroz entre los años 2003 y 2014 de acuerdo a la Encuesta de Seguimiento al Consumo de Alimentos (ENCA) realizada por el INE.

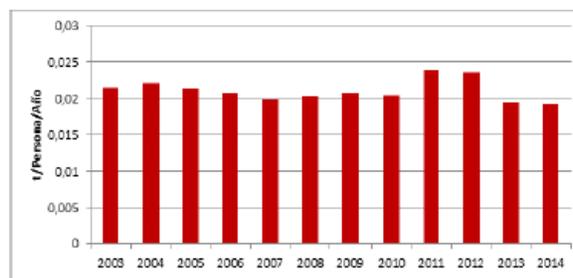


Figura 1. Consumo per cápita de arroz en Venezuela. Período 2003-2014. Fuente: INE [14].

### III. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

La estructura del modelo es una representación del sistema real. Está constituida por los elementos, las variables, los parámetros y las relaciones funcionales que conforman el sistema. Se construyó bajo los siguientes supuestos:

- Los insumos, las maquinarias y el transporte están disponibles durante la producción y el procesamiento.
- Los productores siembran en los meses aptos para la siembra. La cosecha también se realiza en los meses recomendados.
- El cultivo es afectado por el clima, las malezas, plagas y/o enfermedades. Estos factores ocasionan daños al 25,5% de la superficie sembrada en cada período.
- De acuerdo con la información expuesta por Molina [7] se usaron los valores 10, 30 y 100 ha para las superficies sembradas de los productores pequeños, medianos y grandes, respectivamente.
- Para los productores es mucho más fácil retirarse del sector que ingresar a él, debido a que para ingresar es necesario que todas las condiciones estén dadas, tanto climáticas como económicas.
- Las etapas del procesamiento de la agroindustria no son modeladas debido a la característica de modelo agregado.
- La capacidad de almacenamiento en silos nunca se ha visto saturada de arroz paddy y se supone el doble de su valor en el 2005, el cual fue, según la Asociación Venezolana de Molinos de Arroz (ASOVEMA), de 325.400 t [15]. Esta capacidad sólo limita la importación de arroz paddy. Todo el arroz paddy de producción nacional es recibido por la agroindustria.
- La agroindustria trabaja al 95% de su capacidad operativa cada mes, suponiendo que un 5% de la maquinaria está en mantenimiento o fuera de funcionamiento.
- La demora de importación de arroz paddy es de un mes.
- La demora de distribución de arroz paddy es de una semana.
- En la simulación base se importa sólo arroz paddy.
- El porcentaje de arroz blanco a comercio ilícito es 10%.

No hay exportación de arroz.

#### A. PRODUCTORES

El proceso de producción del arroz comienza con la decisión de los productores de sembrar en el período

próximo de cultivo. La Fig. 2 muestra la estructura para calcular la cantidad de productores que decide sembrar en el siguiente período.

El nivel Productores Pequeños Operativos representa la cantidad acumulada de productores pequeños que decide sembrar en el siguiente período y es calculado a través de la Ecuación (1).



Figura 2. Estructura para estimar la cantidad de productores pequeños operativos en cada época de cultivo.

$$\text{Productores Pequeños Operativos} = \text{INTEG} \quad (1)$$

(Incremento PP – disminución PP, PP INICIAL)

El nivel anterior se incrementa por el flujo de entrada incremento PP (Productores/Mes) (PP, siglas usadas para hacer mención a los productores pequeños) y disminuye por el flujo de salida disminución PP (Productores/Mes). El flujo incremento PP depende del período cultivo (adimensional) que indica la época en la cual se lleva a cabo la toma de decisión de producir por parte de los productores, la época de siembra y la de cosecha, a partir de la relación funcional tabla cultivo (adimensional) y el tiempo de simulación Time (Mes), una fracción incremento PP (adimensional) que depende de una tabla incremento PP (adimensional) y el tiempo Time, un efecto por ganancia en cantidad PP (adimensional) que se calcula a partir del nivel Ganancia Estimada PP (Bs) dividido por una GANANCIA NORMAL PP (Bs); y un efecto por importación en cantidad PP (adimensional) calculado a partir de la suma de un efecto por importación AP (adimensional) y un efecto por importación AB (adimensional). Estos efectos indican que a mayor importación, mayor es la cantidad de productores que se retiran antes de la próxima época de siembra.

El flujo de salida disminución PP depende, de manera similar al flujo de entrada, del período cultivo, una fracción disminución PP (adimensional) y los efectos anteriores, los cuales influyen directamente en el incremento y la disminución de la cantidad de

productores pequeños antes de iniciar la siembra. La GANANCIA NORMAL PP representa el ingreso promedio que obtienen los productores pequeños mensualmente.

Las estructuras utilizadas para estimar la cantidad de productores medianos y grandes son análogas a las de los productores pequeños antes descritas.

**B. FLUJO DE CAJA ESTIMADO DE LOS PRODUCTORES**

La Ganancia Estimada PP se calcula a través de la estructura mostrada en la Fig. 3, que representa el flujo de caja estimado de cada productor pequeño, el cual depende de un flujo de entrada llamado ingresos PP (Bs/Mes) y un flujo de salida llamado costos PP (Bs/Mes).

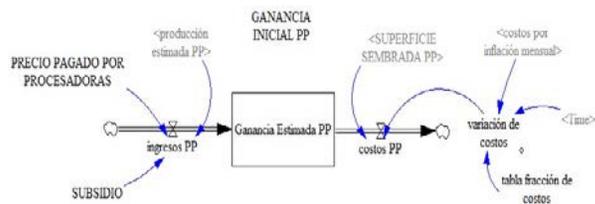


Figura 3. Estructura para estimar la ganancia de un productor pequeño.

El nivel Ganancia Estimada PP es calculado mediante la Ecuación (2).

$$\text{Ganancia Estimada PP} = \text{INTEG}(\text{ingresos PP} - (2) \text{costos PP, GANANCIA INICIAL PP})$$

El flujo de entrada ingresos PP depende de la producción estimada PP (t/Mes) y de las constantes PRECIO PAGADO POR PROCESADORAS (Bs/t) y SUBSIDIO (Bs/t). El flujo de salida costos PP depende de la constante SUPERFICIE SEMBRADA PP (ha) y de la variación de costos (Bs/ha×Mes).

La Ganancia Estimada PM y la Ganancia Estimada PG son calculadas de manera similar a la estructura anterior (PM y PG, siglas usadas para hacer mención a los productores medianos y grandes, respectivamente).

La variación de costos está representada por los costos por inflación mensual (Bs/ha×Mes), una tabla fracción de costos (adimensional) y el tiempo de simulación Time. Para obtener los costos por siembra (Bs/ha) y los costos por cosecha (Bs/ha) a partir de la suma de los costos unitarios, fijos y financieros de sembrar y cosechar una hectárea.

**C. PROCESO DE CULTIVO DEL ARROZ Y PRODUCCIÓN NACIONAL**

Cada período de cultivo comienza con la siembra y termina con la cosecha de la superficie que no sufrió ningún daño durante el desarrollo del cultivo. La Fig. 4 representa la estructura para el arroz paddy sembrado en el campo.

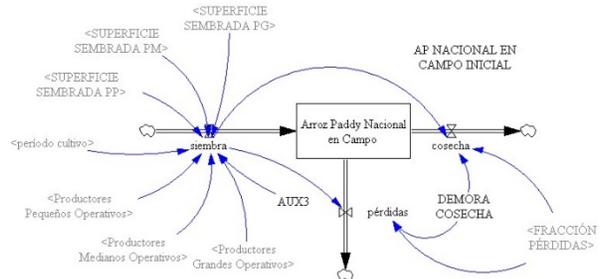


Figura 4. Estructura para estimar el arroz paddy sembrado en el campo.

El nivel Arroz Paddy Nacional en Campo (ha) aumenta por la siembra (ha/Mes) y disminuye por la cosecha (ha/Mes) y las pérdidas (ha/Mes) mediante la Ecuación (3).

$$\text{Arroz Paddy Nacional en Campo} = \text{INTEG}(\text{siembra} (3) - \text{cosecha} - \text{pérdidas, AP NACIONAL EN CAMPO INICIAL})$$

El flujo de entrada siembra representa la superficie sembrada por todos los productores en la época apta para sembrar, el flujo de salida cosecha representa la superficie cosechada luego de que la siembra de arroz esté apta para ser recolectada, esto se representa mediante una demora fija llamada DEMORA COSECHA (Mes). El flujo pérdidas representa la superficie que sufrió daños por diversos factores durante el proceso de desarrollo de la siembra y que no pudo ser cosechada. El flujo cosecha se calcula mediante la Ecuación (4).

$$\text{Cosecha} = \text{DELAY FIXED}(\text{siembra} * (1 - \text{FRACCIÓN PÉRDIDAS}), \text{DEMORA COSECHA}, 0) \quad (4)$$

Posteriormente, una vez cosechada la superficie, se obtiene la producción nacional (t/Mes) de arroz paddy la cual depende de las variables cosecha y período cultivo, también de las constantes RENDIMIENTO PERÍODO SECO y RENDIMIENTO PERÍODO LLUVIOSO, que se usan para hacer la conversión de las hectáreas cosechadas a toneladas de arroz paddy obtenidas de la cosecha.

#### D. IMPORTACIÓN DE ARROZ PADDY

El proceso de importación de arroz paddy lo realiza el Estado venezolano tomando en cuenta el déficit presente en el país, cuando la producción nacional no es suficiente para cubrir la demanda. La Fig. 5 muestra su estructura.

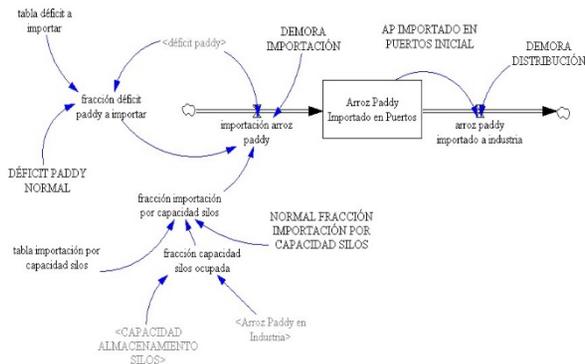


Figura 5. Estructura que representa la importación de arroz paddy.

El nivel Arroz Paddy Importado en Puertos ( $t$ ) depende del flujo de entrada importación arroz paddy ( $t/\text{Mes}$ ) y del flujo de salida arroz paddy importado a industria ( $t/\text{Mes}$ ).

La variable importación arroz paddy depende del déficit paddy ( $t/\text{Mes}$ ), de una fracción déficit paddy a importar (adimensional), de una fracción importación por capacidad silos (adimensional) y de una DEMORA IMPORTACIÓN (Mes). La fracción déficit paddy a importar depende de la relación funcional fracción a importar (adimensional) y de la división del déficit paddy ( $t/\text{Mes}$ ) sobre el DÉFICIT NORMAL ( $t/\text{Mes}$ ).

La fracción importación por capacidad silos depende de la relación funcional tabla importación por capacidad silos (adimensional), de una NORMAL FRACCIÓN IMPORTACIÓN POR CAPACIDAD SILOS (adimensional) y de la fracción capacidad silos ocupada (adimensional), que viene dada por la división del nivel Arroz Paddy en Industria ( $t$ ) sobre la CAPACIDAD ALMACENAMIENTO SILOS ( $t$ ). La fracción déficit paddy a importar y la fracción importación por capacidad silos son variables empleadas para realizar la importación del déficit que satisfaga las necesidades de la población y a su vez limitarla de acuerdo a la capacidad ya ocupada en los silos de la agroindustria. La DEMORA IMPORTACIÓN indica el tiempo que le toma al Estado solicitar a otros países lo que desea importar hasta la llegada del arroz paddy a los puertos del país.

Por otra parte, el arroz paddy importado a industria depende de lo que hay en el nivel Arroz Paddy Importado en Puertos y de una DEMORA DISTRIBUCIÓN (Mes) que indica el tiempo que tarda en ser trasladado el arroz paddy que se encuentra en los puertos hacia la agroindustria.

#### E. AGROINDUSTRIA

La producción nacional de arroz paddy y las importaciones del mismo son enviadas a la agroindustria para continuar con el proceso de obtención de arroz blanco. La estructura que representa el proceso productivo de la agroindustria se puede observar en la Fig. 6. Esta estructura está compuesta principalmente por los niveles Arroz Paddy en Industria ( $t$ ) y Arroz en Procesamiento ( $t$ ).

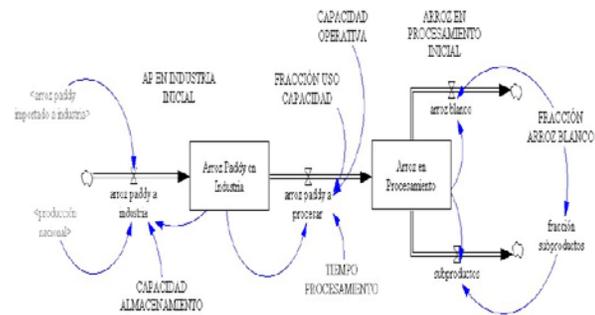


Figura 6. Estructura que representa el proceso productivo en la agroindustria.

Los flujos arroz paddy a industria ( $t/\text{Mes}$ ) y arroz paddy a procesar ( $t/\text{Mes}$ ) aumentan y disminuyen el nivel Arroz Paddy en Industria, respectivamente. En el flujo de entrada, la producción nacional es recibida en su totalidad mientras que la recepción de arroz paddy importado es limitada, es decir, la industria sólo recibe hasta cubrir su disponibilidad.

La variable arroz paddy a procesar incrementa el nivel Arroz en Procesamiento. Este flujo indica que si el Arroz Paddy en Industria dado un TIEMPO PROCESAMIENTO (Mes) es menor que la FRACCIÓN DE USO (adimensional) de la CAPACIDAD OPERATIVA ( $t$ ), puede ser procesado, de lo contrario sólo es procesada la cantidad equivalente a la capacidad que pueda ser procesada en ese tiempo.

Seguidamente, los flujos arroz blanco ( $t/\text{Mes}$ ) y subproductos ( $t/\text{Mes}$ ) disminuyen este nivel y representan el arroz blanco que resulta del procesamiento del grano y los subproductos como

cáscara, afrecho y harina que son separados del grano en el proceso, respectivamente; la variable arroz blanco viene determinada por la constante FRACCIÓN ARROZ BLANCO (adimensional) y los subproductos por la variable fracción subproductos (adimensional), la FRACCIÓN ARROZ BLANCO representa el porcentaje de arroz blanco que es obtenido al finalizar el procesamiento y la fracción subproductos el porcentaje de subproductos que se obtienen del arroz paddy al ser procesado. Esta última depende de la FRACCIÓN ARROZ BLANCO.

**F. COMERCIALIZACIÓN**

Finalmente, cuando ha culminado el proceso de producción, el arroz es trasladado desde la industria al comercio en el territorio nacional. La Fig. 7 muestra la estructura que representa la relación de las variables de dicho proceso.

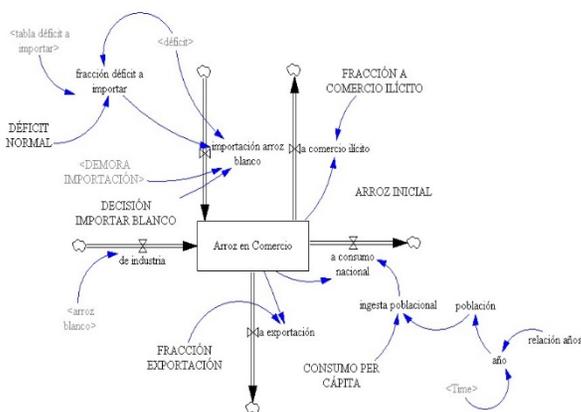


Figura 7. Estructura que representa la comercialización del arroz.

El nivel Arroz en Comercio (t) es incrementado por los flujos de industria (t/Mes) e importación arroz blanco (t/Mes) y disminuido por los flujos a consumo nacional (t/Mes), a comercio ilícito (t/Mes) y a exportación (t/Mes).

La variable de industria viene dada por el arroz blanco que sale de la agroindustria listo para ser consumido. La importación arroz blanco se calcula de manera similar a la importación arroz paddy de la sección D. La constante DECISIÓN IMPORTAR BLANCO (adimensional) permite decidir si se importa (toma el valor 1) o no (toma el valor 0) arroz blanco.

Las variables a consumo nacional, a comercio ilícito y a exportación, representan la cantidad de arroz blanco que es comprada por la población en el comercio, la que es comercializada de manera ilícita y la que se exporta, respectivamente. Las dos últimas variables son

calculadas a partir de la cantidad de arroz que se encuentra en el nivel Arroz en Comercio y las constantes FRACCIÓN A COMERCIO ILÍCITO (adimensional) y FRACCIÓN A EXPORTACIÓN (adimensional) que representan un porcentaje, respectivamente.

La ingesta poblacional es representada por el CONSUMO PER CÁPITA (t/Persona×Mes) y la población (Personas). La población es calculada mediante una regresión lineal, tomando en cuenta un año dado. Este año se calcula a partir de una relación funcional llamada relación años (adimensional) y el tiempo de simulación Time.

**G. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS**

En la Tabla I se muestran los valores de los parámetros del modelo, algunos de ellos fueron estimados y otros calculados a partir de información de fuentes bibliográficas. El resto de dichos parámetros fueron calibrados para obtener la respuesta apropiada del modelo planteado.

TABLA I. PARÁMETROS DEL MODELO

Parámetro	Valor	Unidad
DECISIÓN IMPORTAR BLANCO	0	Dmnl
CAPACIDAD ALMACENAMIENTO SILOS	650.800	t
CAPACIDAD OPERATIVA	100.000	t
CONSUMO PER CÁPITA	0,001958	t/(Persona ×Mes)
DEMORA COSECHA	4	Mes
DEMORA DISTRIBUCIÓN	1	Mes
DEMORA IMPORTACIÓN	0,25	Mes
DÉFICIT PADDY NORMAL	34.000	t/Mes
FRACCIÓN PÉRDIDAS	0,255	Dmnl
FRACCIÓN USO	0,95	Dmnl
FRACCIÓN ARROZ BLANCO	0,64	Dmnl
FRACCIÓN A COMERCIO ILÍCITO	0,1	Dmnl
FRACCIÓN EXPORTACIÓN	0	Dmnl
GANANCIA NORMAL PP	36.416	Bs
GANANCIA NORMAL PM	109.200	Bs
GANANCIA NORMAL PG	364.200	Bs
NORMAL FRACCIÓN A IMPORTAR POR CAPACIDAD SILOS	1	Dmnl
PRECIO PAGADO POR PROCESADORAS	2500	Bs/t
RE NDIMIENTO PERÍODO SECO	5	t/ha
RE NDIMIENTO PERÍODO LLUVIOSO	4,62	t/ha
SUBSIDIO	1100	Bs/t
SUPERFICIE SEMBRADA PP	10	ha
SUPERFICIE SEMBRADA PM	30	ha

SUPERFICIE SEMBRADA PM	30	ha
SUPERFICIE SEMBRADA PG	100	ha
TIEMPO PROCESAMIENTO	1	Mes

Fuente elaboración propia

#### IV. SIMULACIÓN BASE

Para realizar la corrida base se consideró el contexto en el que se desempeñó el sector arrocero en Venezuela durante el año 2012, debido a la escasez de algunos datos en los años 2013 y 2014. En el modelo se utilizó como unidad de tiempo de simulación el "Mes". La corrida base se realizó para un período de 12 meses, donde el mes 1 representa al mes de octubre y el mes 12 al mes de septiembre, esto se planteó de acuerdo al año agroclimático del cultivo planteado por Molina [6]. El método de integración utilizado fue Runge-Kutta de segundo orden automático, que es más preciso que el de Euler y en algunas ocasiones más rápido que el método de RungeKutta de cuarto orden automático; con un tamaño de paso de 0,015625. La utilización de este método y de este tamaño de paso permitió obtener resultados apropiados comparados con datos proporcionados por las fuentes bibliográficas.

##### A. ARROZ PADDY NACIONAL EN CAMPO

Durante la etapa inicial del cultivo en cada período, el nivel Arroz Paddy Nacional en Campo tiene un valor de cero. En el período seco la superficie sembrada es mayor que en el período lluvioso. Una vez iniciada la siembra alcanza la cantidad de 182.200 ha en el período seco y la cantidad de 136.650 ha en el período lluvioso. La Fig. 8 muestra el comportamiento de este nivel.

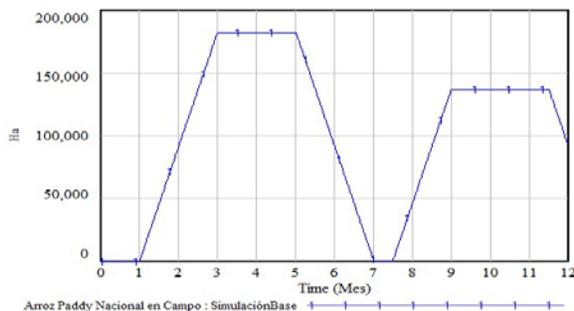


Figura 8. Comportamiento del nivel Arroz Paddy en Campo.

##### B. ARROZ PADDY EN INDUSTRIA Y ARROZ EN PROCESAMIENTO

La Fig. 9 muestra el comportamiento de los niveles Arroz Paddy en Industria y Arroz en Procesamiento.

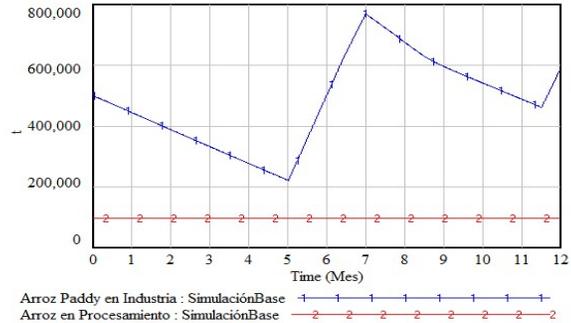


Figura 9. Comportamiento de los niveles Arroz Paddy en Industria y Arroz en Procesamiento.

El nivel Arroz Paddy en Industria tiene un valor inicial de 500.000 t almacenadas. En los primeros meses del año sólo hay importación, por lo tanto esta cantidad disminuye y llega al valor de 220.000 t. Cuando los productores arriman su cosecha en la agroindustria, aumenta la cantidad de arroz paddy almacenada en sus silos. Esto ocurre para ambos períodos de cultivo. En la cosecha del período seco la cantidad almacenada es mayor debido a que la producción nacional también es mayor. El nivel Arroz en Procesamiento tiene un valor inicial de 95.000 t, el cual se mantiene durante todo el año. La industria procesa a su máxima capacidad utilizada todo el año debido a que el arroz paddy que se encuentra almacenado en los silos siempre es mayor que su capacidad mensual de procesamiento, basado en el supuesto de que la capacidad de almacenamiento en silos es ilimitada.

##### C. ARROZ EN COMERCIO

El comportamiento del nivel Arroz en Comercio, el cual tiene un valor inicial de 55.273 t, indica que la cantidad que se encuentra disponible en los comercios del territorio nacional se mantiene en un valor constante durante todo el año. Esta cantidad es consumida por la población y otra parte de ella es desviada a la comercialización ilegal en Colombia.

#### V. VALIDACIÓN DEL MODELO

El modelo fue validado a través de las siguientes pruebas: verificación estructural, consistencia dimensional, error de integración, condiciones extremas y análisis de sensibilidad de los parámetros. A partir del conjunto de pruebas realizadas se pudo verificar la robustez del modelo y generar confianza en el mismo.

**VI. ANÁLISIS DE ESCENARIOS**

**A. ESCENARIO 1:** Si la producción nacional disminuye o aumenta a valores históricos ¿cómo se vería afectada la importación de arroz paddy y cómo reaccionarían los productores?

Según FEDEAGRO [9] el año de mayor producción en Venezuela ha sido el 2008, cuando se produjeron 1.360.650 t y el año de menor producción ha sido el 2002, en el que se produjeron 668.164 t. Esto corresponde a una variación en la producción de 66% en aumento respecto al 2008 y 19% en disminución respecto al 2002.

Para este escenario, los valores de los parámetros *RENDIMIENTO PERÍODO SECO* y *RENDIMIENTO PERÍODO LLUVIOSO* fueron asignados a criterio propio, para representar la producción del año 2002 en 4,1 y 3,5 t/ha; y para representar la producción del 2008 en 8,15 y 7,95 t/ha, respectivamente. Con estos rendimientos se obtuvo como resultado un volumen de producción anual de 665.741 t y un volumen de producción de 1.359.000 t, para el año 2002 y 2008, respectivamente.

La Fig. 10 muestra el comportamiento del nivel Arroz Paddy Importado en Puertos cuando varía la producción nacional. Se observa que cuando la producción es tan baja como en el año 2002, las importaciones aumentan un 16% al final de la época de arrime de la cosecha del período seco, en el mes de abril. De otro modo, si la producción aumenta al nivel del 2008, las importaciones tienden rápidamente a cero cuando se arrima la cosecha del período seco y como la producción es suficiente para satisfacer la demanda el resto del año, el Estado no realiza más importaciones.

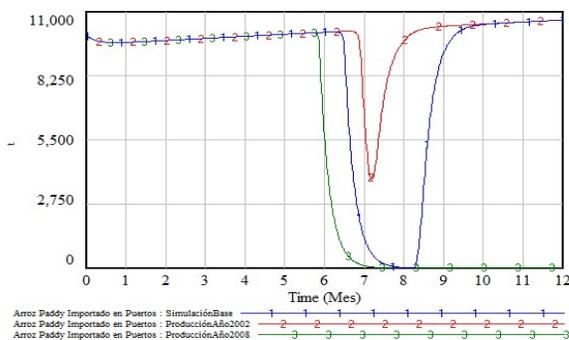


Figura 10. Comportamiento del nivel Arroz Paddy Importado en Puertos.

**B. ESCENARIO 2:** Si el consumo y la cantidad de arroz desviada al comercio ilícito varían en distintas magnitudes, ¿cómo se verían afectadas las decisiones que toma el estado sobre la importación y el arroz en comercio?

Los parámetros que deben ser ajustados en el modelo para representar estas situaciones son *FRACCIÓN A COMERCIO ILÍCITO* y *CONSUMO PER CÁPITA*, los cuales son variados en valores inferiores y superiores de los iniciales, unos asignados bajo criterio propio y otros obtenidos de fuentes. La Tabla II muestra el efecto que produce la variación de estos parámetros en los niveles Arroz Paddy Importado en Puertos y Arroz en Comercio.

TABLA II. EFECTO DE LA VARIACIÓN DEL CONSUMO PER CÁPITA Y LA FRACCIÓN A COMERCIO ILÍCITO SOBRE LA IMPORTACIÓN Y EL ARROZ DISPONIBLE EN COMERCIO.

Consumo per cápita mensual	Fracción a comercio ilícito	Arroz Paddy Importado en Puertos	Arroz en Comercio
0,00196 t	0,1	407.737 t	663.266 t
0,00159 t	0,1	0 t	1.041.000 t
0,00196 t	0,4	706.732 t	529.591 t
0,00159 t	0,4	587.501 t	534.065 t
0,00226 t	0	340.278 t	724.075 t
0,00473 t	0,1	2.017.000 t	663.266 t
0,00159 t	0,2	5.458 t	743.047 t
0,00196 t	0	1.463 t	860.009 t
0,001 t	0,3	0 t	1.067.000 t

Fuente: Elaboración propia

Por ejemplo, cuando el *CONSUMO PER CÁPITA* se reduce a 0,00159 t (19,17 Kg), cantidad de arroz consumido por la población en el primer semestre del año 2014, de acuerdo con lo establecido por el INE [2], y la *FRACCIÓN A COMERCIO ILÍCITO* se mantiene en su valor inicial, la demanda del rubro se cubre, la población está satisfecha y para el Estado no es necesario importar arroz.

Si el *CONSUMO PER CÁPITA* aumenta a 0,00226 t, dato indicado por la Encuesta Nacional de Consumo de Alimentos (ENCA), realizada por el INE [16] en la que expone que los venezolanos consumían 74,3 gr/persona×día es decir, 27,12 Kg/persona ese año, y no hay comercio ilícito; el Estado reduce la importación ya que cuando hay producción nacional la población está satisfecha.

**C. ESCENARIO 3:** ¿Qué ocurriría en el sector si el uso de la capacidad operativa disminuye y las importaciones no se ejecutan a tiempo?

A principios del mes de mayo del año 2014 las empresas reportaron que la capacidad utilizada de la industria arrocera estaba al 60%. El otro 40% se encontraba inoperativo por falta de materia prima e insumos. A esto se suman otros factores como insuficiencia de empaques y un marco laboral que genera trabas a la producción, situación que no es exclusiva de la industria arrocera sino del sector productivo en general [17].

El parámetro ajustado para que ocurra este escenario es *FRACCIÓN USO CAPACIDAD* asignado en 0,6 de acuerdo a la información presentada por El Universal [17]. En la Fig. 11 se comparan los niveles Arroz Paddy en Industria y Arroz en Procesamiento cuando se presenta esta situación.

Otro factor que influye en la disminución del uso de la capacidad operativa es que las importaciones no sean ejecutadas a tiempo. En este caso también es ajustado el parámetro *DEMORA IMPORTACIÓN* a 1,25 meses, valor asignado bajo criterio propio.

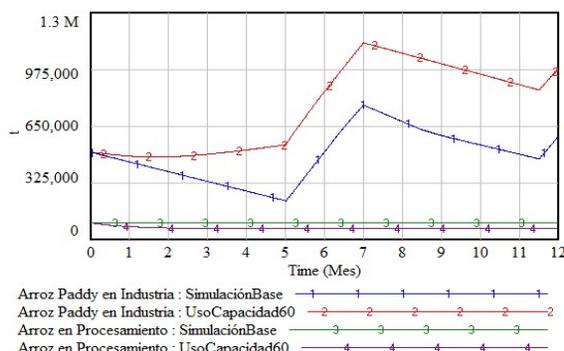


Figura 11. Comportamiento de los niveles Arroz Paddy en Industria y Arroz en Procesamiento cuando el uso de la capacidad operativa disminuye a 60%.

La cantidad de arroz paddy que se encuentra almacenada en la agroindustria aumenta porque la cantidad que está siendo procesada por unidad de tiempo es 35% menor que su valor inicial. También se puede observar que la industria procesa en su totalidad la cantidad que está en capacidad de procesar debido a que la cantidad que está almacenada en industria es más que suficiente.

El nivel *Arroz en Comercio* se ve proporcionalmente afectado por la variación de la capacidad operativa y el aumento en el tiempo de importación, lo que causa desabastecimiento (y muy probablemente descontentos en la población al no conseguir el producto).

**D. ESCENARIO 4:** Si la demanda de arroz aumenta y el estado decide importar arroz blanco además de arroz paddy, ¿cómo se verían afectados los productores y la producción nacional?, ¿cómo se comporta el sistema en un período de 3 años?

Cuando la demanda de consumo de arroz de la población es muy alta, las empresas procesadoras no dan abasto para satisfacer la cantidad requerida mensualmente por dicha población. Como consecuencia de esto, el Estado decide importar, además de arroz paddy, arroz blanco para satisfacer las necesidades de consumo de los venezolanos en el menor tiempo posible.

Para establecer este escenario, se parte de la información proporcionada por el INE [16] de que el consumo per cápita aumentó a 27,12 Kg/persona×año y los cálculos de la Asociación de Productores de Guárico que situaron en 20% de la producción nacional el contrabando hacia Colombia a principios del año 2009, incentivado por un precio equivalente a Bs. 5,50 por kilo de arroz blanco en el vecino país, frente al valor regulado de Bs. 2,32 vigente en Venezuela en ese año [18].

Los valores de los parámetros *DECISIÓN IMPORTAR BLANCO*, *CONSUMO PER CÁPITA* y *FRACCIÓN A COMERCIO ILÍCITO* para este escenario fueron asignados bajo la información presentada en este escenario, en 1, 27,12 Kg/persona×año y 0,2, respectivamente.

Cuando ocurre este escenario, en la época de cultivo durante el período lluvioso, los productores no tienen incentivos para seguir cultivando arroz al observar que el Estado decide importar más y que la población está satisfecha.

También, que los costos de producción aumentan constantemente y la producción del cultivo se hace insostenible. Por estas razones, una cantidad notable de productores decide retirarse del sector y posiblemente dedicar sus parcelas a otros rubros y por ende, la producción disminuye en gran medida. En la Fig. 12 se muestra el comportamiento del nivel Producción Nacional Acumulada en el transcurso de 3 años.

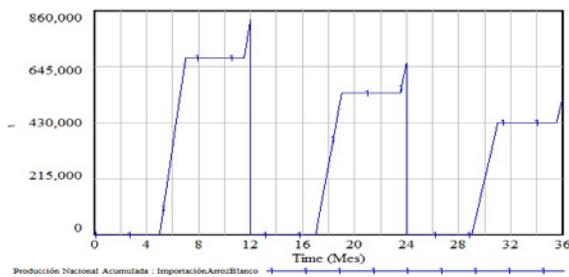


Figura 12. Comportamiento del nivel Producción Nacional Acumulada en el transcurso de 3 años.

Al transcurrir 3 años, la producción disminuye un 37% debido al retiro de aproximadamente 50% de los productores. El Estado responde a este comportamiento, importando mayor cantidad de arroz. Para cambiar esta dinámica, se deben mejorar las políticas actuales que son implementadas en el sector arrocero y establecer diálogos entre el Estado, productores y gremios.

El crecimiento de las importaciones viene dado por el incremento en la población cada año, que conlleva el aumento del consumo per cápita, y además por la disminución observada de la producción. Esto es percibido por el Estado venezolano que toma sus previsiones aumentando las importaciones de arroz paddy y blanco. La falta de producción, el desabastecimiento y la escasez han llevado al país a una dependencia crítica de las importaciones.

## VII. NOTAS FINALES

En este trabajo se ha presentado un modelo de simulación integrado de producción, procesamiento y consumo de arroz en Venezuela, construido mediante la utilización de la metodología Dinámica de Sistemas y el software de simulación Vensim.

Basándose en una amplia revisión bibliográfica y una visita realizada a Alimentos Polar Comercial Planta Calabozo, en el Estado Guárico, se realizó la descripción del sistema real que permitió la construcción del modelo de simulación y la estimación de sus parámetros. La disparidad de la información obtenida de diferentes fuentes originó diversas dificultades al asignar los valores de los parámetros en el modelo.

Se plantearon distintas situaciones que pudiesen ocurrir en el sistema real a partir del análisis de un conjunto de escenarios. Como resultado de este análisis se pudieron

observar los cambios presentados en las decisiones tomadas por los productores y el Estado venezolano que afectan la producción nacional y el abastecimiento del rubro, lo cual se ve también afectado por factores como los cambios del clima y las infestaciones en el cultivo.

Se estudiaron las situaciones ocurridas en el 2002 y 2008 cuando la producción de arroz estuvo en su punto más bajo de 668.164 t y en su punto más alto de 1.360.605 t, respectivamente, observándose así los efectos que pudieron haber tenido estas situaciones sobre las decisiones de los diferentes actores. Si la producción disminuye un 19%, el Estado decide incrementar las importaciones en 16%, lo que ocasiona que alrededor de 60 productores pequeños, medianos y grandes decidan retirarse del sector. Si la producción aumenta un 66%, las importaciones tienden a cero cuando los productores comienzan a arrimar sus cosechas y éstos deciden permanecer cultivando arroz.

Mediante el análisis del segundo escenario, se determinó la importancia que tiene aumentar el control en las fronteras del país para evitar que el rubro se desvíe al contrabando, ya que esto ocasiona parte del desabastecimiento en el país, teniendo como consecuencia el descontento de la población. Por ejemplo, si el porcentaje de arroz blanco desviado a comercio ilícito es el 40% del arroz blanco que se encuentra en los comercios, el Estado venezolano decide importar en la misma medida arroz paddy para cubrir la demanda, generando desmotivación en los productores.

Con respecto al procesamiento, se comprendió que es fundamental dotar de insumos y maquinaria a la agroindustria para que trabaje a su máxima capacidad, esto debe estar acompañado del incremento de molinos, lo que constituye a mediano plazo el aumento en la producción de arroz.

El análisis del último escenario planteado permitió corroborar la necesidad del diálogo y la gestión efectiva entre el Estado, los productores y gremios involucrados en este sector, con miras a lograr un pleno abastecimiento del rubro. Se debe incentivar la producción nacional y disminuir las importaciones, ya que en caso contrario, aproximadamente el 50% de los productores tendería a retirarse del sector al cabo de 3 años, lo que implicaría una disminución aproximada en la producción de 37% en ese mismo período de tiempo.

Es importante desarrollar políticas dirigidas a crear las condiciones humanas, técnicas, económicas y financieras que hagan posible la estabilidad en este importante sector.

### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico Tecnológico y de las Artes (CDCHTA) de la Universidad de Los Andes y al Observatorio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (ONCTI) del Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Innovación, por haber financiado parcialmente este trabajo bajo los proyectos I-1428-15-02-F y PEii N° 2011001338, respectivamente.

### REFERENCIAS

- [1] FONAIAP. El arroz: Alimento importante para dos mil millones de seres humanos. Disponible en <http://sian.inia.gob.ve>. Fecha de consulta: 19 Mayo 2014.
- [2] Instituto Nacional de Estadística (INE). Consumo aparente diario per cápita, según producto, primer semestre 2014. Disponible en <http://www.ine.gov.ve>. Fecha de consulta: 20 Enero 2015.
- [3] J. Forrester, *Industrial Dynamics*, MIT Press, Boston: EEUU, 1961, p. 464.
- [4] J. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, primera edición, McGraw-Hill, Boston: EEUU, 2000, p. 982.
- [5] Vensim (2014). Ventana Systems, inc. Disponible en <http://www.vensim.com/>. Fecha de consulta: 30 Junio 2014.
- [6] Molina, L. Notas sobre la situación de la producción primaria de arroz en Venezuela. *Agroalimentaria*, 6:45-55, 1998.
- [7] Molina, L. Permanencia Campesina en la Producción de Arroz en un Contexto de Orientación Neoliberal en Venezuela (1989-1998). *Agroalimentaria*, 9:23-39, 1999.
- [8] Contreras, A. Fevearroz reafirma caída de 45% en la producción. Disponible en <http://www.eluniversal.com>. Fecha de consulta: 18 Enero 2015.
- [9] FEDEAGRO. Rendimiento por Rubro. Disponible en [www.fedeagro rg](http://www.fedeagro rg). Fecha de consulta: 16 Enero 2014.
- [10] Instituto Nacional de Nutrición. Hoja de Balance de Alimentos, 2009.
- [11] García, I. Fletes y servicios de cosecha encarecieron en 35% la hectárea de arroz en 7 meses.

Disponible en <http://www.elmundo.com.ve>. Fecha de consulta: 30 Abril 2015.

[12] Hernández, K. (2012). Importaciones cubrieron 50% del consumo de arroz. Disponible en <http://www.el-nacional.com>. Fecha de consulta: 23 Enero 2015.

[13] Instituto Nacional de Estadística. Sistema de Consulta de Estadísticas del Comercio Exterior. Disponible en <http://www.ine.gov.ve>. Fecha de consulta: 20 Enero 2015.

[14] Instituto Nacional de Estadística. Consumo per cápita de arroz en Venezuela. Período 2003-2014. Disponible en <http://www.ine.gov.ve>. Fecha de consulta: 20 Enero 2015.

[15] ASOVEMA. Capacidades instaladas de industria molinera de arroz en Venezuela 2005. Disponible en <http://www.asovema.org.ve>. Fecha de consulta: 11 Octubre 2014.

[16] Instituto Nacional de Estadística. De cada 100 venezolanos 95 comen tres veces o más por día. Disponible en <http://www.correodelorinoco.gob.ve>. Fecha de consulta: 02 Junio 2015.

[17] El Universal. Radiografía de la Industria, p. 4, 2014.

[18] Contreras, A., Tovar, E., y M., L. (2009). Estiman déficit en producción de arroz. Disponible en <http://www.eluniversal.com>. Fecha de consulta: 17 Abril 2015.

### AUTORES



**VICENTE RAMÍREZ** es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida-Venezuela; MSc in Economics de la London School of Economics, Londres-Inglaterra; PhD. In Economics de la Università della Svizzera italiana, Lugano-Suiza. Profesor Titular del Departamento de Investigación de Operaciones de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la ULA y profesor del Postgrado en Modelado y Simulación de Sistemas y miembro asociado del Centro de Simulación y Modelos (CESIMO) de la ULA.



**LUISANA GARCÍA** es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida-Venezuela.



**IXHEL MEJÍAS** es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida-Venezuela. Estudiante de la Maestría en Modelado y Simulación de Sistemas del Centro de Simulación y Modelos (CESIMO) de la ULA

## 52. CONTROL DE LA POBLACIÓN DE PALOMAS (COLUMBA LIVIA) EN LA PLAZA DE BOLÍVAR DE BOGOTÁ D.C.

ANA YURI VIVIANA ROJAS FORERO, JOHAN MANUEL REDONDO

Universidad ECCI - Colombia  
anayuvivi@gmail.com, jredondoo@ecc.edu.co

### RESUMEN

Las palomas (*Columba livia*) son parte cultural de los centros históricos de las grandes ciudades del mundo, sin embargo, son una especie invasora, la cual a su vez podría ser responsable de la transmisión de enfermedades zoonóticas, representando una amenaza para la salud pública de los visitantes de la Plaza de Bolívar de Bogotá, razón por la cual es necesario controlar el incremento neto de estas aves, sin buscar su extinción. En este trabajo se construyó un simple modelo del crecimiento de la población de palomas, al que posteriormente se le aplican una serie de pulsos de control a través del tiempo, para disminuir de forma periódica la población de estas aves. Los resultados indican que este tipo de control hace que la población de palomas se encuentre en un rango aceptable, para su interacción con los seres humanos.

**PALABRAS CLAVES:** *Columba livia*, dinámica de sistemas, control de población, salud pública.

### . INTRODUCCIÓN

Moláns (2004) describe a las poblaciones locales como un conjunto de organismos de la misma especie que ocupan un hábitat, tienen características genéticas similares, gracias a su cohesión reproductiva y se desarrollan en base de ciertos factores limitantes, como lo son el alimento, el refugio, la adaptabilidad biológica y las especies depredadoras, de estos depende la dinámica de población, la cual a su vez está sujeta a factores de ritmo como lo son las tasas de natalidad y mortalidad, la curva de crecimiento y las migraciones de la población, todo esto se ve reflejado en la densidad de la especie en un mismo espacio.

Como lo explican Dukes & Mooney, (1999), la dinámica de las especies tiende a cambiar cuando se exponen a cambios globales en los ecosistemas, algunos de estos son más propensos a ser invadidos por especies colonizadoras.

Bernal, Rivas, Rodríguez, Vásquez, & Vélez, (2011), explican como las especies con características colonizadoras pueden generar un problema de sobrepoblación, esto sucede cuando los factores limitantes se tornan ideales y las poblaciones empiezan

a crecer descontroladamente, convirtiéndose en un problema de salud pública, ya que se vuelven vectores de enfermedades zoonóticas. Algunas de las enfermedades que González-Acuña, et al. (2007), podrían atribuir a esta especie son clamidiosis, staphylocosis, salmonelosis y aspergillosis.

Como sucede con las palomas en el sector de la Plaza de Bolívar.

Las invasiones biológicas son responsabilidad del hombre según Castro-Díez, Valladares, & Alonso. (2004). En el caso de la sobrepoblación de palomas en la Plaza de Bolívar podría atribuirse a la urbanización y construcción de monumentos, ya que es el refugio ideal de dichas aves, la superalimentación de los turistas y visitantes y la acogida y protección por parte de las personas.

Las palomas son aves que fueron domesticadas hace mucho tiempo; Según (Magnino et al., 2009) Las palomas (*Columba livia domestica*), también conocidas como "urbanas", "de ciudad" o "de calle", son descendientes de la forma domesticada de la paloma de la roca de vida libre o Paloma bravia y su domesticación

se caracterizó por un alto éxito anual de reproducción y mansedumbre, como se cita en Mendez, et all (2013).

Se consideran a estas aves como parte del patrimonio cultural de la ciudad de Bogotá, parte de las estructuras y el paisaje, hasta el punto de convertirse en un atractivo turístico para aquellas personas que vienen a conocer los monumentos y la historia de la ciudad, son criaturas que fueron introducidas a nuestro país en la época de la colonización y por esta razón son tan importantes culturalmente para las personas que crecieron en torno a este lugar de la localidad de la Candelaria. Además, también son el sustento económico de familias enteras que han dedicado sus vidas a la venta de alimento para estos animales. Esta situación se presenta en otros países como Puerto Rico, donde las mencionadas aves tienen una aceptación social bastante amplia (Ramírez, et all, (2008).

Las palomas tienen un gran éxito en los lugares donde se asientan por sus aspectos biológicos, ya que son aves monógamas, pueden refugiarse en árboles, acantilados, construcciones urbanas. Se reproducen entre los meses de Marzo a Agosto, ponen cada 45 días, anidan entre 10 y 12 días y los huevos tienen una eclosión a los 19 días, los pichones son expulsados del nido a los 25 días (Martínez Saavedra, 2009). Los huevos de estas aves son propensos a la humedad y cambios climáticos (Walsberg, 1985), por esto sus refugios son sitios estables que no representan una amenaza para su desarrollo poblacional.

En otras partes del mundo se han realizado estudios del impacto que generan las palomas en la salud pública, razón por la cual González-Acuña, et all, (2007), en la ciudad de Chillán, Chile, las declararon como una plaga, dado que son portadoras de agentes zoonóticos como la *Salmonella* sp. Henry & Crossley (1986), publicaron sobre el contagio de psitacosis relacionado con el contacto con palomas en Estados Unidos. En Brasil De Lima, et all (2011), comprobaron la presencia de *Chlamydomphila psittaci* y *Toxoplasma gondii*. Phillips, et all, (2012), erradicaron a las palomas de las Islas Galápagos, ya que no solo representaban un problema de salud pública para sus habitantes, sino que también estaban afectando la biodiversidad de las islas.

Según Mendez, et all, (2013) esto se puede atribuir al excremento seco que se mezcla como material particulado en el aire, el cual al ser dispersado causa enfermedades como la salmonella, histoplasmosis, criptococosis, clamidiosis. Además como dicen Navas

Serrano, Vila Álvarez, & Regalado del Valle, (2000), también son responsables de la aviozoonosis, de ser transmisoras de toxoplasmosis y, a su vez, de tener la capacidad biológica de ser reservorio y amplificador de viremias, además de ser reservorios de la influencia aviar (Albonik, 2014), y esquistosomiasis producida por *Gigantobilharzia huronensis* (Sweazea, et all, 2014).

Además, Romero (2013), dice que sus heces contienen ácido úrico y fosfórico los cuales son corrosivos para las estructuras de relevancia histórica.

En la Ciudad de Cali, Caicedo B, Alvarez V, Llanos, & Molina, (1996), realizaron un estudio acerca de la presencia de *Cryptococcus neoformans* en las excretas de las palomas y la afectación a la salud de personas inmunodeprimidos por el virus del VIH, arrojando resultados positivos.

El contagio de estas enfermedades no se ha relacionado con el tiempo de exposición con las palomas, pero si se han catalogado como exposiciones peligrosas la inhalación de polvo contaminado con *Chlamydomphila psittaci*, la manipulación y la alimentación de estas aves, como lo explica Mendez, et all, (2013).

A pesar del gran impacto en la salud pública a causa de las enfermedades zoonóticas anteriormente mencionadas, en Bogotá solo son vistas como un problema para la arquitectura de los monumentos históricos de la ciudad, sin embargo, al atribuirle al problema las innecesarias consecuencias sanitarias, presentamos como urgente la implementación de alternativas de control de la población de palomas, en plazas como la Simón Bolívar de Bogotá, contenidos en programas y políticas ambientales y de salud, preventivos.

En este trabajo, presentamos los resultados del modelamiento de una alternativa de control poblacional en las palomas, que consiste en aplicar periódicamente un medicamento que inhibe la fertilidad de la población de palomas.

## 2. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

Para la revisión de la alternativa propuesta, hemos construido en este trabajo un modelo matemático, partiendo de la representación causa-efecto del sistema en cuestión, hasta obtener una ecuación diferencial ordinaria, a la que denominaremos el modelo del

problema. La metodología utilizada en la construcción del modelo es la Dinámica de Sistemas, como se muestra en las subsecciones siguientes.

**2.1 DIAGRAMA CAUSAL**

Siguiendo la Fig.1, el incremento neto de la población aumenta la población de palomas, por ende, entre más individuos se encuentren en un área va a haber una mayor reproducción y la población va a aumentar de manera exponencial.



Figura 1. Diagrama Causal del crecimiento exponencial de la población de palomas.

En la Fig. 2, proponemos que una política de control de población afecta al incremento neto de manera negativa, esto significa que va a reducirlo, razón por la cual habría una menor cantidad de individuos, generando una menor reproducción y un menor riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas en la población humana.

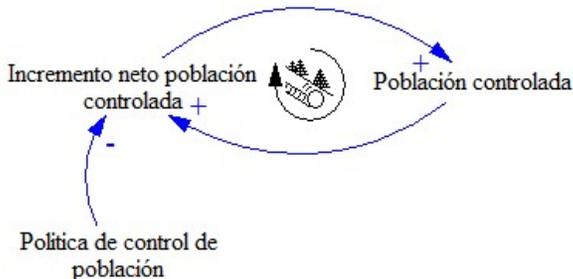


Figura 2. Diagrama Causal del crecimiento controlado de la población de palomas.

**2.2 DIAGRAMA DE NIVELES Y FLUJOS**

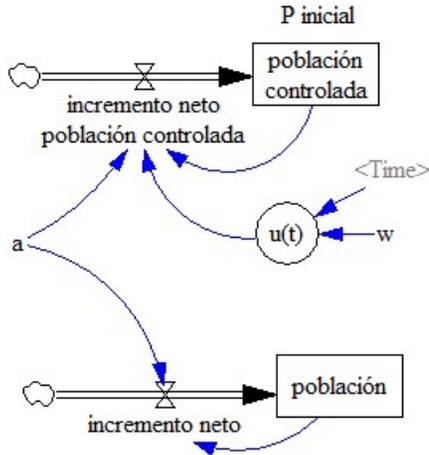


Figura 3. Diagrama de niveles y flujos del crecimiento controlado de la población de palomas.

Tomando como variables de estado del sistema los atributos población de palomas (P) y población controlada de palomas (Pc) en los diagramas causales de la Fig. 1 y Fig. 2, construimos el diagrama de niveles y flujos presentado en la Fig. 3, a partir del cual definimos el siguiente conjunto de ecuaciones:

**2.2.1 ECUACIONES DE NIVEL**

$$\frac{dP}{dt} = IN$$

$$\frac{dPc}{dt} = INC$$

**2.2.2 ECUACIONES DE FLUJO**

• IN es el incremento neto de la población de palomas, es cual es proporcional a la tasa de incremento neto de la población de palomas *a* por la población.

$$IN = aP$$

• INC es el incremento neto de la población controlada de palomas, el cual está condicionado por la tasa de incremento neto de la población de palomas *a*, la población *Pc* y la política de control de la población (*t*) en función del tiempo.

$$INC = aP \cdot u(t)$$

**2.2.3 ECUACIONES AUXILIARES**

(*t*) es la política de control de la población y fue definida como la función a trozos que se presenta a continuación:

$$(t) = Má\{0, senwt\}$$

Donde *w* es el periodo del control y *t* es la variable de tiempo, de modo que, en los casos en los que la función seno sea negativa, el control tomará el valor cero. De este modo, si el *máx* = 0, entonces la población permanecerá constante, mientras que en otro caso, la población experimentará graduales incrementos de la población, cercanos a los obtenidos cuando la población no es controlada.

**2.2.4 MODELO MATEMÁTICO**

A continuación, se puede observar el conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden que componen las ecuaciones del sistema y a las que denominaremos el modelo matemático del problema.

$$\frac{dP}{dt} = aP \cdot \text{Máx}\{0, \text{sen } wt\}$$

$$\frac{dP_c}{dt} = aP_c \cdot \text{Máx}\{0, \text{sen } wt\}$$

Cuyas condiciones iniciales son  $P(0) = P_0$  y  $P_c(0) = P_{c0}$ . La solución a este problema de valor inicial es el sistema de soluciones

$$P(t) = \begin{cases} P_0 e^{\left(\frac{a}{w} - \frac{a}{w} \cos wt\right)} & \text{si } \text{máx} \neq 0 \\ P_0 & \text{si } \text{máx} = 0 \end{cases}$$

$$P_c(t) = \begin{cases} P_{c0} e^{\left(\frac{a}{w} - \frac{a}{w} \cos wt\right)} & \text{si } \text{máx} \neq 0 \\ P_{c0} & \text{si } \text{máx} = 0 \end{cases}$$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La simulación se realizó en el programa Vensim PLE, con un tiempo inicial de 0 y un tiempo final de 60 meses, usando un tamaño de paso en el integrador RK4Auto de 0.0625.

A continuación se presenta el comportamiento de la población de palomas, frente a la población controlada de las mismas, en una función senoidal de tiempo, teniendo en cuenta que las simulaciones están dadas para que la política de control de población se active cada 3 meses.

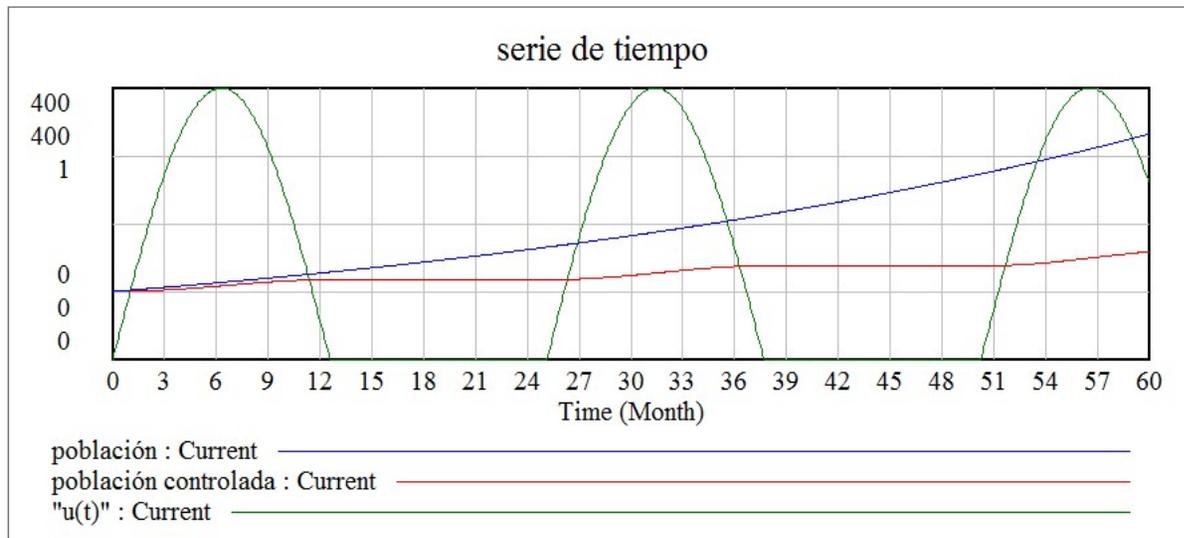


Figura 3. Simulación del comportamiento de la población de palomas implementando una política de control de la población.

En la TABLA I, se muestra el comportamiento de la población en individuos que se logra en la simulación realizada en la Fig. 3

A partir de los datos obtenidos, se puede observar como los resultados de la aplicación de una política de control de la población son más notorios y significantes en grandes periodos de tiempo (cada 12 meses), ya que la diferencia entre la población y la población controlada se vuelve mayor a medida que avanza el tiempo, sin generar una extinción de las palomas.

TABLA I. Margen de error entre la población de palomas y la población controlada cada 12 meses.

Tiempo (Meses)	Población de palomas	Población controlada de palomas	Diferencia entre la población natural y la población controlada
0	100	100	0
12	127.125	108.329	18.796
24	161.607	117.351	44.256
36	205.443	127.125	78.318
48	261.169	137.713	123.456
60	332.012	149.182	182.830

En la siguiente simulación Fig. 4, se puede observar el comportamiento de la población y de la población controlada cuando la política de control de población es activada cada 3 meses.

La diferencia y efectividad del control se muestra en la TABLA II, con los individuos de diferencia entre ambas poblaciones a través del tiempo, demostrando que los resultados del control se hacen mayores a medida que la política de control se va realizando.

- La función de la política de control de población es de tipo senoidal para simular los periodos en los que la política de control está activa (cuando la curva es nula) y cuando se deja de implementar (cuando la cresta de la onda alcanza su punto máximo)

- La diferencia entre aplicar una política de control en la población y su crecimiento exponencial sin intervención, se hace más evidente cuando se ha realizado en un lapso de tiempo amplio, tal y como se puede observar en la Fig.3.
- La población de palomas a la que no se le aplica ningún control crece de manera exponencial a través del tiempo.
- La población de palomas decrece en los intervalos de tiempo en los que se aplica la política de control, sin embargo, vuelve a crecer en los intervalos en los que no se implementa.
- La población controlada mantiene los niveles de crecimiento y decrecimiento a través del tiempo.

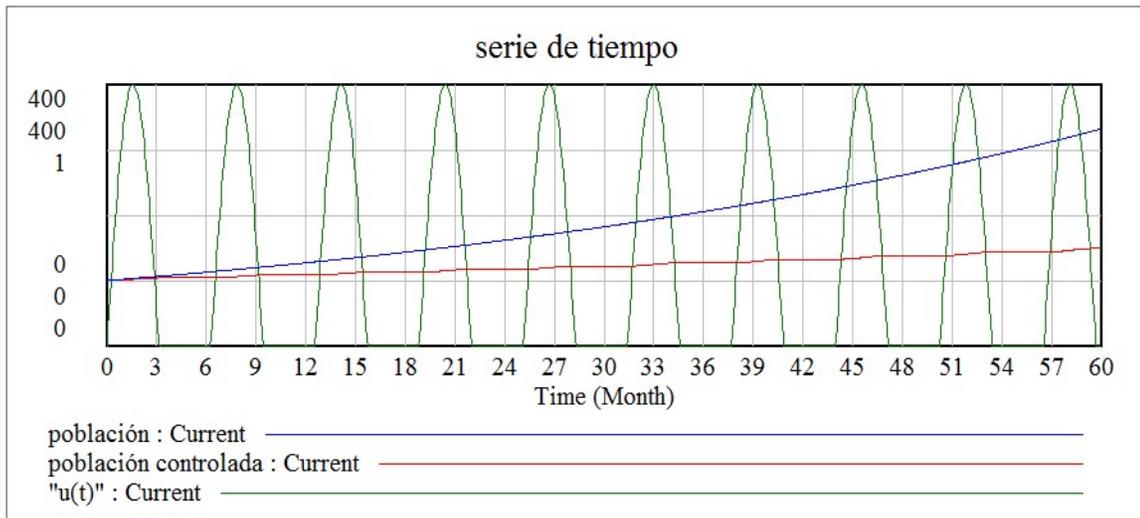


Figura 4. Simulación del comportamiento de la población de palomas implementando una política de control de la población cada 3 meses.

Tiempo (Meses)	Población de palomas	Población controlada de palomas	Diferencia entre la población natural y la población controlada
0	100	100	0
3	106.184	104.075	2.109
6	112.75	104.081	8.669
9	119.722	108.136	11.586
12	127.125	108.329	18.796
15	134.986	112.209	22.777
18	143.333	112.75	30.583
21	152.196	116.294	35.902
24	161.607	117.351	44.256
27	171.601	120.423	51.178
30	182.212	122.14	60.072

30	182.212	122.14	60.072
33	193.479	124.485	68.994
36	205.443	127.125	78.318
39	218.147	129.003	89.144
42	231.637	132.313	99.324
45	245.96	133.575	112.385
48	261.169	137.713	123.456
51	277.319	138.425	138.894
54	294.468	143.333	151.135
57	312.677	143.62	169.057
60	332.012	149.182	182.830

TABLA II. Margen de error entre la población de palomas y la población controlada cada 3 meses.

## CONCLUSIONES

- En este trabajo se usó una función senoidal, esto mejoró la observación del comportamiento de crecimiento de las poblaciones de palomas cuando se activa la política de control y cuando esta es nula.
- El modelo realizado en este trabajo satisface los requerimientos propuestos para el control periódico de la población de palomas, ya que se pudo observar que la población controlada mantiene un constante crecimiento y decrecimiento a través del tiempo, sin provocar una extinción de la especie o una sobrepoblación.
- La reducción y control de la población disminuiría la exposición y posible transmisión de enfermedades zoonóticas.
- La problemática de las palomas en la Plaza de Bolívar de Bogotá en la salud pública, tiene una connotación social muy grande, ya que la misma comunidad es la que se ha encargado de hacerlas parte del patrimonio cultural de la ciudad, por esto, es necesario introducir una mayor educación ambiental, para que la política de control de población no sea rechazada y se logre el objetivo de su aplicación.

## 2. REFERENCIAS

1. Albonik, C. (2014). A current review of avian influenza in pigeons and doves (Columbidae). ELSEVIER, *Veterinary Microbiology*, 181-196.
2. Alcaldía local de la Candelaria. (2013 - 2016). Plan ambiental local 2013-2016. Bogotá: Alcaldía local de la Candelaria.
3. Bernal, L., Rivas, M., Rodríguez, C., Vásquez, C., & Vélez, M. P. (2011). Nivel de Impacto Sobre la Población de Palomas (*Columba livia domestica*) en los habitantes del perímetro del Parque Municipal del Municipio de Envigado en el año 2011. Universidad de Antioquia .
4. Caicedo B, L. D., Alvarez V, M. I., Llanos, C. E., & Molina, D. (1996). *Cryptococcus neoformans* en excretas de palomas en el perímetro urbano de Cali. *Colombia Médica UniValle*, Vol 27.
5. Castro-Díez, F., Valladares, A., & Alonso. (2004). La Creciente Amenaza De Las Invasiones Biológicas. *Revista ecosistemas*, Vol 13.
6. De Lima, Y. V., Langoni, H., Vieira da Silva, A., Bergamaschi Pezerico, S., Peres Barbosa de Castro, A., Costa da Silva, R., y otros. (2011). *Chlamydomydia psittaci* and *Toxoplasma gondii* infection in pigeons (*Columba livia*) from São Paulo State, Brazil. ELSEVIER, 9-14.
7. Dukes, J., & Mooney, H. (1999). Does global change increase the success of biological invaders. *Science Direct*, Vol 14, 135-139.
8. El Tiempo. (12 de Enero de 2007). Con raticida envenenaron las 150 palomas que aparecieron muertas en la plaza de Bolívar de Bogotá. *El Tiempo*.
9. Fernandez, M. O., & Numpaque, M. N. (2014). Inventario y plan de conservación preventiva de los bienes muebles - inmuebles en el espacio público que se encuentran en las localidades de chapinero, santa fe, teusaquillo, fontibon y engativa. BOGOTÁ.
10. Gómez de Silva, H., Oliveras de Ita, A., & Medellín Legorreta, R. A. (2005). *Columba livia Gmelin*, 1789. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
11. González-Acuña, D., Silva G, F., Moreno, L., Cerda, L., Donoso E, S., Cabello C, J., y otros. (2007). Detección de algunos agentes zoonóticos en la ploma doméstica (*Columba livia*) en la ciudad de Chillán, Chile. *scielo*.
12. Henry, K., & Crossley, K. (1986). Wildpigeon-related psittacosis in a family. *Chest Journal*.
13. Magnino, S. H.-W. (2009). Chlamydial infections in feral pigeons in Europe: re- view of data and focus on public health implications. *Veterinary Microbiology*, 135(1-2), 54-67.
14. Martínez Saavedra, J. (2009). Comportamiento de la paloma de competición (*Columba livia*) durante el periodo de muda y cría. *Anales universitarios de etología*.
15. Mendez, V. M., Villamil, L. C., Buitrago, D. A., & Tovar, D. S. (2013). La paloma (*COLUMBA LIVIA*) en la transmisión de enfermedades de importancia en salud pública. *Revista Ciencia Animal*, 183.
16. Morláns, M. C. (2004). Introducción a la Ecología de Poblaciones. Argentina: Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca.
17. NAVAS SERRANO, V. M., VILA ÁLVAREZ, J., & REGALADO DEL VALLE, M. (2000). Zoonosis transmitidas por aves. *Sociedad Española de Médicos Generales y de Familia*.
18. Phillips, R. B., Cooke, B. D., Carrión, V., & Snell, H. L. (2012). *Biological Conservation*. ELSEVIER, 264-269.
19. Quintero, P., & Yerleys, P. (13 de enero de 2015). "Plaza de Bolívar," Herencia MIA/ Bogotá D.C. Recuperado el 29 de Diciembre de 2014, de <http://herenciamia.org/bogota/items/show/137>

20. Ramírez, O., et al., Conocimiento popular de la Paloma de Castilla (*Columba livia*) en el Parque Central de Alajuela. Zeledonia (2008).
21. Rico, G. (2014). La paloma, ¿Enemigo público? Semana sostenible.
22. Sweazea, K.L., et al., Pathophysiological responses to a schistosome infection in a wild population of mourning doves (*Zenaida macroura*). *Zoology* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.zool.2015.07.001>
23. Walsberg, G., A test for regulation of egg dehydration by control of Shell conductance in mourning doves, *Physiological Zoology* Vol. 58, No. 4 (Jul. - Aug., 1985), pp. 473-477.



## 53. MODELO CONCEPTUAL DE LA IMPORTANCIA DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES EN LA EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO EN COLOMBIA

STEVEN RICARDO MORA GONZÁLEZ, NICKSON ALEJANDRO HERNÁNDEZ, JOHAN MANUEL REDONDO. PHD

Universidad ECCI – Colombia

steven\_683@hotmail.com, nicksonalejandro13@hotmail.com, jredondoo@ecci.edu.co

### RESUMEN

En este trabajo se realizó un modelo utilizando la metodología de la Dinámica de Sistemas para analizar la importancia de buenas prácticas ambientales en la extracción de petróleo. En Colombia, la actividad petrolera se ha presentado predominantemente en los suelos de los llanos orientales, sin embargo, no hay que olvidar que el conflicto colombiano hace que la actividad petrolera sea un blanco de los grupos armados, que atacan contra los oleoductos e interceptan el petróleo durante su transporte y ocasionan su derrame. Por lo tanto, es necesaria la recuperación de estos ecosistemas afectados.

La biorremediación es una tecnología para descontaminar y degradar compuestos tóxicos por medio de agentes microbianos. Para este documento se realizó una serie de simulaciones que relacionan las cantidades de suelo contaminado generadas por la actividad, con las condiciones protocolarias de seguridad, prevención, control y tratamientos de remediación que sean costo eficientes como ladfarming, siendo este un papel muy importante para entender el problema y así poder tener soporte para la toma de nuevas decisiones.

**PALABRAS CLAVE:** Modelamiento, Dinámica de Sistemas, Sistemas Dinámicos, Biorremediación, Hidrocarburos.

### 1. INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos, han generado a escala mundial un problema de contaminación de suelos, aire y agua. Entre las más severas se destacan las que se produjeron y todavía se producen por la actividad petrolera, la cual en sus diferentes etapas del proceso extractivo genera contaminación.

Actualmente, los esfuerzos por encontrar nuevas reservas de hidrocarburos se encuentra en uno de sus niveles históricos más altos. Dicha situación ha hecho que la actividad de las empresas presentes en Colombia atraviesa uno de los momentos de mayor actividad, por lo tanto, la afectación que se puede generar al medio ambiente puede ser considerable.

En el caso del suelo, los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos fisicoquímicos simultáneos, como la

evaporación y filtración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida, puede generarse mayor o menor toxicidad, además, de tener una moderada, alta o extrema salinidad, lo que dificulta su tratamiento, debido a que altos gradientes de salinidad pueden destruir la estructura terciaria de las proteínas, desnaturalizar enzimas y deshidratar células, lo cual es letal para muchos microorganismos usados para el tratamiento de suelos contaminados [1,2,3].

Por lo tanto es importante resaltar que la base de una nueva industria petrolera limpia y amigable con el medio que la rodea, es acudiendo a las buenas prácticas, nuevas tecnologías, sistemas más limpios, a planes de desarrollo organizados, planes de manejo ambiental establecidos y con fundamentos, para que así los beneficiados seamos todos, contando con una mejor calidad del medio ambiente y la industria petrolera con el ahorro de dinero [17].

Las biotecnologías, han permitido desarrollar diversas estrategias con la finalidad de poder restaurar los suelos y la calidad ambiental, de acuerdo con las dimensiones y necesidades del problema a solucionar, como el Landfarming que es un proceso biológico ex situ de bajo costo, en comparación con otras tecnologías de remediación.

La biorremediación ha sido utilizada por el hombre con el fin de reducir la complejidad de los compuestos tóxicos en compuestos más simples, es decir, de menor peso molecular, obteniendo como resultado dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y agua H<sub>2</sub>O mediante el uso de agentes microbianos [4,5].

Las bacterias son las más utilizadas en estos procesos de remediación gracias a sus características metabólicas [5], *Gordona* y *Nocardia* sp, *Pseudomona stutzeri* y *Alcaligenes* Sp, se caracterizan por su gran capacidad para degradar aeróbicamente hidrocarburos halogenados y compuestos aromáticos, como los PHA's (hidrocarburos poli cíclicos aromáticos) de elevado peso molecular [14,15], estos microorganismos desestabilizan el anillo aromático del compuesto e introducen uno o dos grupos hidroxilo por medio de reacciones catalizadas [6], sin embargo, es necesario tener en cuenta las características del suelo que se van a tratar y otros factores que condicionan la tasa de transformación del contaminante y la concentración de microorganismos tales como: los nutrientes, pH del suelo, temperatura y humedad [7].

Se han realizado previamente estudios relacionados con el tema, los cuales muestran que para este proceso de descontaminación se logró tener una eficiencia de un 80% en los cuales la mitad de la reducción se manifiesta en los primeros 4 meses en climas semiáridos [9]. No obstante, una opción de gran importancia para mejorar la eficiencia del proceso, es la simbiosis, acción de diferentes microorganismos mediante la combinación de sus actividades metabólicas, lo que permite una degradación más eficiente de uno o más contaminantes en el suelo [8,9].

Por otro lado, la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), Universidad ECCI, y la Universidad Sergio Arboleda han venido utilizando la metodología de la dinámica de sistemas y la teoría de los sistemas dinámicos [12,13], lo cual nos permite no solo atrapar la estructura del sistema, sino también entender el comportamiento cualitativo de las órbitas del mismo, orientando el tipo de simulaciones que deberíamos

encontrar. Esto permite interrelacionar los diferentes aspectos de relevancia en la biorremediación de suelos y por consiguiente, nos permiten un estudio orientado a la explicación del fenómeno, facilitándonos entender el comportamiento del sistema en función del tiempo.

Sin embargo, hay que aclarar que los modelos desarrollados con dinámica de sistemas, están más orientados a la explicación del comportamiento que a la predicción, por lo que esta metodología es la más adecuada para el desarrollo de este trabajo.

En Colombia, el laboratorio de biotecnología de la empresa colombiana de petróleos ECOPETROL, adelanta trabajos de investigación de biorremediación para diagnosticar y descontaminar suelos y aguas con hidrocarburos, además, están desarrollando un producto que consiste en una combinación de microorganismos con capacidad degradadora de compuestos hidrocarbonados [ECOPETROL 2003].

En Argentina se han realizado previos estudios en los sedimentos de la región, para encontrar microorganismos que sean efectivos para la biodegradación de suelos contaminados por hidrocarburos [3,12].

La hipótesis que pretende desarrollar el presente trabajo es que los conflictos petróleo-medio ambiente, están basados en un escenario en el cual es necesario mejorar las condiciones protocolarias de seguridad, prevención y control de los planes de manejo ambiental basados en buenas prácticas ambientales en las actividades, así como tecnologías de remediación costo-eficientes que sean amigables con el medio ambiente y la sociedad.

## 2. METODOLOGÍA

Debido a las interacciones de los atributos que hacen parte de esta problemática, se aplicó la metodología de la Dinámica de Sistemas, de modo que se pudiera representar sistémicamente el problema y además fuera posible ver su evolución temporal. En este orden de ideas, se realizó una primera conceptualización del problema a través del diagrama causal (ver Figura 1), dando lugar a la formulación del diagrama de niveles y flujos (ver Figura 2) y a partir de una serie de Ecuaciones, poder llegar al modelo matemático. Por consiguiente, mediante la teoría de los sistemas dinámicos se realizó un análisis cualitativo del problema y a través del programa Vensim PLE 6.3, se realizaron

las simulaciones presentadas en la Figura (3) y Figura (4), con el fin de poder obtener los análisis y las conclusiones que se presentan al final de este documento.

**2.1. DIAGRAMA CAUSAL**

En la figura se muestra el diagrama causal, el cual representa la afectación que tiene la extracción petrolera sobre el suelo, la contaminación por hidrocarburos afecta los factores bióticos de la zona e infertilidad del suelo [16], disminución de nitrógeno y fósforo en el suelo debido al aumento de carbón, lo cual es fatal para los procesos metabólicos de los microorganismos [2,3], al presentarse esta situación, se vuelve necesario el uso de tecnologías de biorremediación que garanticen la recuperación de estos suelos contaminados. Sin embargo, al implementar biotecnologías costo-eficientes de descontaminación, la presión normativa jugaría un papel muy importante como ente de control en las prácticas de extracción petrolera.

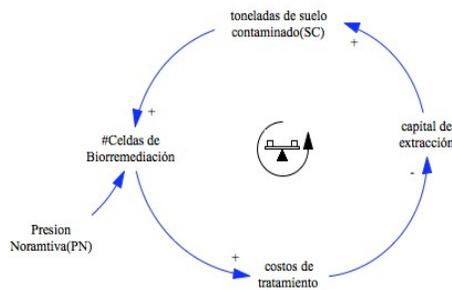


Figura 1 diagrama causal general. Diagrama niveles y flujos

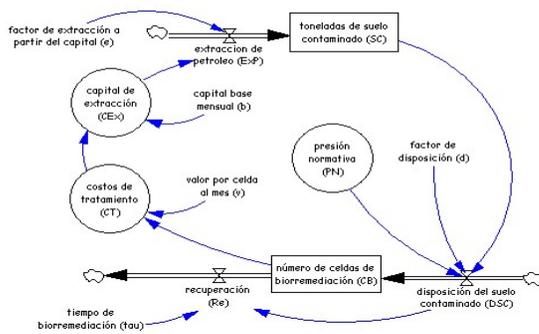


Figura 2 diagrama de niveles y flujo

En el modelo de niveles y flujos se establecieron dos variables de nivel, y corresponden: a) suelo contaminado *SC*, que se relaciona proporcionalmente a la extracción de Petróleo *ExP* esta a su vez esta asociada a un factor de extracción *e*, y a un capital de extracción (*Cex*) el cual esta

condicionado por un capital base mensual *b*, y un costo de tratamiento *CT*, por otro lado, el costo de tratamiento se ve condicionado por el valor de las celdas de biorremediación *v*, y el número de celdas de biorremediación *CB*.

En este sentido, nuestra segunda variable *CB* se asocia a la disposición de suelo contaminado *DSC* que se encuentra condicionada por la presión normativa *PN*, el factor de disposición *d* y por la recuperación de suelo *Re*, que está a su vez condicionada por un tiempo de biorremediación  $\tau$  y la disposición de suelo contaminado *DSC*, en lo que se le denomina First in , First Out.

**3. ECUACIONES DEL MODELO**

A continuación presentamos las ecuaciones implementadas en el diagrama de niveles y flujos de la Figura (2) para la obtención de las simulaciones que se discutirán más adelante.

**3.1 ECUACIONES DE NIVEL**

El cambio infinitesimal del suelo contaminado *SC* con respecto al tiempo *t*, es proporcional a la Extracción Petrolera *ExP*:

$$\frac{dSC}{dt} = ExP$$

Es decir, la acumulación de contaminación en el suelo, dependerá del aumento de la extracción de petróleo. El cambio infinitesimal de celdas de biorremediación *CB* con respecto al tiempo *t*, es dado por la diferencia entre la disposición del suelo contaminado *DSC* y la recuperación del suelo contaminado *Re*:

$$\frac{dCB}{dt} = DSC - Re$$

Es decir, la acumulación de celdas de biorremediación, dependerá de la cantidad de suelo contaminado a disposición y la capacidad de recuperación del suelo contaminado.

**3.2 ECUACIONES DE FLUJO**

La cantidad de extracción de petróleo *ExP*, viene dada por el producto entre el factor de extracción a partir del capital *e*, y el capital de extracción de petróleo *CEx*:

$$ExP = e \cdot CEx$$

De este modo, la extracción de petróleo, es proporcional al capital de extracción de petróleo.

La disposición del suelo contaminado  $DSC$  es dada por el producto entre la presión normativa  $PN$ , el factor de disposición  $d$  y las toneladas de suelo contaminado  $SC$  generadas:

$$DSC = PN \cdot d \cdot SC$$

Es decir que la relación entre la presión normativa, la tasa de disposición y las toneladas generadas de suelo contaminado, condicionan la disposición del suelo contaminado.

La Recuperación de suelo contaminado se podría entender de la siguiente manera, cuando el tiempo  $t$  es  $<$  al tiempo tau  $\tau$ , es decir, al tiempo estimado de biorremediación, la recuperación de suelo contaminado será  $= 0$ , pero cuando el tiempo  $t > \tau$  la recuperación de suelo contaminado, será proporcional a la disposición de suelo contaminado  $DSC$ :

$$Re = 0 \begin{cases} t < \tau \\ DSC & t \geq \tau \end{cases}$$

### 3.3 ECUACIONES AUXILIARES

El capital de extracción  $CEX$ , es dado por la diferencia entre el capital mensual  $b$ , y el costo de tratamiento  $CT$ :

$$CEX = b - CT$$

El costo de tratamiento  $CT$ , es el producto entre el valor por celda de biorremediación al mes  $v$ , y la cantidad de suelo contaminado a recuperar:

$$CT = v \cdot Re$$

### 3.4 MODELO MATEMÁTICO

Para el tiempo  $t$  inferior al tiempo  $\tau$  en el que inicia la biorremediación ( $t < \tau$ ), el modelo es el siguiente:

$$\dot{SC} = 0$$

$$CB = PN \cdot d \cdot SC$$

Donde el punto sobre la variable de estado significa la derivada con respecto al tiempo.

Por otro lado, para el tiempo  $t$  superior al tiempo  $\tau$  en el que inicia la biorremediación ( $t \geq \tau$ ), el modelo es el siguiente:

$$\dot{SC} = PN \cdot d \cdot SC$$

$$CB = 0$$

Nótese que cuando el tiempo  $t < \tau$  la variable de Presión normativa  $PN$ , se encuentra enfocada en el tratamiento de biorremediación y no en la cantidad de suelo contaminado.

Pero cuando el tiempo  $t \geq \tau$ , la variable de presión normativa  $PN$  aparece y pasa a estar enfocada en la cantidad de suelo contaminado y no en el proceso de biorremediación.

Figura (3): Simulación 1.

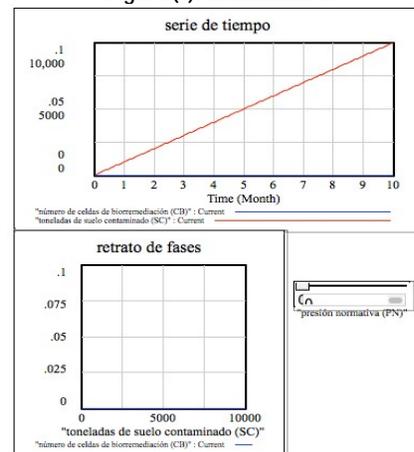
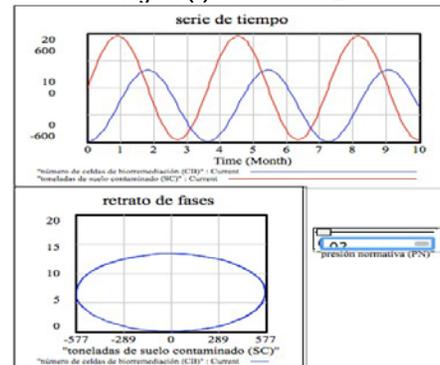


Figura (4): Simulación 2.



## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la comprensión del modelo, se realizaron dos simulaciones.

En la primera simulación (ver Figura 3), no se tiene en cuenta la Presión Normativa, por lo tanto su valor numérico será igual a cero, y una segunda simulación, en donde sí se tiene en cuenta la presión normativa, por lo tanto su valor numérico será  $> 0$  (ver Figura 4).

Al correr el modelo, en la simulación 1 se puede observar que las toneladas de suelo contaminado aumentan con respecto al tiempo sin ningún límite, y la curva azul indica que el número de celdas de biorremediación siempre será 0 con respecto al tiempo. Esto explica, que al no haber entes de prevención y control que regulen esta actividad, no se tendrá en cuenta la importancia de implementar tecnologías de remediación y por lo tanto el impacto ambiental será mayor.

Sin embargo, en la simulación 2, la presión normativa tiene un valor  $> 0$ , es decir, que sí hay normas y políticas que regulen y controlen la actividad de extracción petrolera. Por lo tanto, podemos observar que la curva de suelo contaminado y la curva de celdas de biorremediación oscilan una con respecto a la otra, indicando así que a medida que el suelo contaminado aumenta, el número de celdas de biorremediación también aumenta, evidenciando una proporcionalidad entre las dos variables. No obstante, hay que aclarar que gracias a la presión normativa el número de celdas de biorremediación es proporcional a las toneladas de suelo contaminado, sin embargo, después de que aparecen las primeras toneladas de suelo remediado, el número de celdas de biorremediación disminuye, indicando así, que al disminuir las toneladas de suelo contaminado, la empresa busca disminuir costos, por lo tanto no es necesario mantener o aumentar la cantidad de celdas de biorremediación.

## 5. CONCLUSIÓN

La implementación de modelos de planes de manejo ambiental basados en buenas prácticas ambientales, podría resultar muy importante para este nuevo concepto de la industria petrolera, pero sólo es posible si se establece una interacción entre ella y el medio ambiente, la cual arroje resultados positivos para ambas partes, aproximándose así a ese desarrollo sostenible del cual se habla tanto en estos días.

Por medio de éste modelo se observa que muchos problemas mas que cálculos cuantitativos puntuales, lo que realmente interesa es el comportamiento cualitativo de las soluciones en términos de las condiciones iniciales o de valores de los parámetros. Además de saber que una solución es creciente, que tiene un límite en el infinito puede ser de ayuda en el entendimiento de un modelo. Ocurre, que bajo ciertas circunstancias, podemos obtener tal información sin resolver explícitamente la ecuación diferencial.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Alejandra Zamora, Jesús Ramos, Marianela Arias. Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana. Biógrafo. Vol. 24.
- [2] Restrepo R. Derrame de hidrocarburos. Impacto en los ecosistemas tropicales. ECOPETROL Instituto Colombiano de Petróleo. 2002.
- [3] Di Paola, M.M; Vicién, C. Biorremediación: vinculaciones entre investigación, desarrollo y legislación. Proyecto de Investigación CEURCONICET. Potencialidades de la biotecnología para el desarrollo industrial de Argentina. Universidad de Buenos Aires. Octubre 2010.
- [4] EPA, (2000). Engineered Approaches to In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents: Fundamentals and Field Applications.
- [5] Garbisu, C; Amézaga, I; Alkorta, I. Biorremediación y ecología. 2002.
- [6] Fernández, S.L. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos y caracterización de comunidades microbianas implicadas. Facultad de Biología. Departamento de Microbiología. Universidad de Barcelona. Tesis Doctoral. 2012.
- [7] Maroto, M; Rogel, J. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. GEOCISA. División Protección Ambiental de Suelos.
- [8] J.A. Marín, T. Hernández, C. García. Bioremediation of oil refinery sludge by land farming in semiarid conditions: influence on soil microbial activity. Vol. 98. June 2005. Páginas 185-195.
- [9] Sánchez, J.M. Rodríguez, J.L. Fundamentos y aspectos microbiológicos. Biorremediación Universidad De Oviedo. 2004.
- [10] EPA. Engineering Issue: In Situ and Ex Situ Biodegradation Technologies for Remediation of Contaminated Sites. 2006.
- [12] Esp. Beryiny Ruiz, Manuela a. Soria g. Degradación de hidrocarburos, por consorcios microbianos bioestimulados, en suelo tipo oxisole. Xii encuentro colombiano de dinámica de sistema. Pag 48.
- [13] Mohammad Sherafatmand, How Yong Ng. Using sediment microbial fuel cells for bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons. November 2015. Vol 195. Paginas 122-130.
- [14] Eriksson M, Sodersten E, Zhongtang Y, Dalhammar G, Mohn W. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons at low temperature under aerobic and nitrate-reducing. Apply Environ Microbial. 2003. [15]

[15] Miguel LARREAL, Jesús DIAZ and et al. Bioremediation of petrochemicals sludges by native microflora in an oxisol at the Lagunillas Municipality, Zulia State, Venezuela. December.

[16] Bravo, E. los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. Acción ecológica. Mayo 2007.

[17] Jorge Emilio Cálaho, Caracterización Ambiental de la Industria Petrolera: Tecnologías Disponibles para la Prevención y Mitigación de Impactos Ambientales

## 54. APROXIMACIÓN A LA TRANSMISIÓN DE TUBERCULOSIS EN UN CENTRO PENITENCIARIO EN MEDELLÍN DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

### SYSTEM DYNAMICS APPROACH TO THE TRANSMISSION OF TUBERCULOSIS IN A MEDELLIN PRISON

LUCELLY LÓPEZ L. Y LUCIANO GALLÓN

Universidad Pontificia Bolivariana Medellín  
lucelly.lopez@upb.edu.co, luciano.gallon@upb.edu.co

#### ABSTRACT

Tuberculosis (TB) is a disease that primarily affects the lungs. The World Health Organization (WHO) estimates that about 30% of the world population is infected, and of these, about 5% develop the disease. TB affects everyone, but some conditions favor transmission, such as overcrowding, nutritional conditions and contact with people with the disease. Prisons are places in which are present many of these conditions. However, TB is treatable and curable. Some small interventions can modify or control its transmission, among them: reduce overcrowding; wear a mask; isolate sick people during the time that infect others and monitor the treatment to achieve healing. All or some of these measures can help reduce the number of cases of infected and sick people. It is precisely because of the complexity of the problem that System Dynamics can help, through systems thinking and simulation, to build a model that facilitate a depth study of the problem, investigating its structure, components, relationships, states and dynamics. In this first version of the model, we confirmed some dynamical hypothesis for the effective control of the disease as overcrowding level and timely intervention through specific medical treatments.

Keywords: Tuberculosis transmission in correctional centers; Tuberculosis; System Dynamics

#### I. INTRODUCCIÓN

La tuberculosis es una enfermedad que afecta principalmente los pulmones, pero puede afectar a cualquier órgano del cuerpo, es causada por la bacteria *Mycobacterium tuberculosis* que puede permanecer en el cuerpo en forma latente (la persona tiene la bacteria pero no tiene ningún síntoma) o activa (cuando se produce la enfermedad). Las personas adquieren *M. tuberculosis* por vía aérea, al inhalar los aerosoles que quedan suspendidos en el aire después de que un enfermo de tuberculosis pulmonar o laringea tose, estornuda o escupe. Esta enfermedad le puede dar a personas de cualquier condición social o raza, pero afecta principalmente a personas pobres y en condiciones de vulnerabilidad, como las privadas de la libertad [1]. Las cárceles son grandes reservorios de la enfermedad, pues en ellas existen condiciones para que favorecen su diseminación [2]. Las tasas de la

enfermedad en los centros penitenciarios llegan a ser hasta 20 veces mayores que en las de la población general [3]. Para disminuir la transmisión de la enfermedad se pueden implementar pequeñas acciones como el aislamiento de pacientes, hacer uso de barreras de protección respiratoria y suministrar el tratamiento de manera oportuna y adecuada [2].

#### II. EPIDEMIOLOGÍA DE LA TUBERCULOSIS

##### A. Tuberculosis en el mundo

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que cerca del 30% de la población mundial está infectada con la bacteria de la tuberculosis, que el riesgo de desarrollar la enfermedad en los dos primeros años después de adquirida la infección está entre el 5 y el 10%, y que este riesgo es mayor en las personas con enfermedades que debilitan el sistema inmune, como el

VIH, la diabetes, la desnutrición y las edades extremas (niños y adultos mayores) [1].

Una persona que no reciba tratamiento de forma oportuna puede contagiar en el lapso de un año, hasta otras 10 personas que estén en contacto estrecho. No recibir tratamiento adecuado puede producir la muerte de hasta el 60% de los pacientes.

Sobre la situación de tuberculosis, la OMS llama la atención sobre algunos aspectos como [1]:

- La tuberculosis es la segunda causa mundial de mortalidad por un agente infeccioso, después del SIDA.
- En 2013 representó 9 millones de enfermos y 1,5 millones de muertes.
- Más del 95% de las muertes por tuberculosis ocurrió en países de ingresos bajos y medios.
- Se calcula que 480,000 personas desarrollaron tuberculosis multiresistente a nivel mundial en 2013.
- La tasa de mortalidad por tuberculosis disminuyó un 45% entre 1990 y 2013.
- Se calcula que entre 2000 y 2013 se salvaron 37 millones de vidas mediante el diagnóstico y el tratamiento de la tuberculosis.

## B. Tuberculosis en Colombia

Las tasas de tuberculosis en Colombia son altas. En el año 2013 se notificaron 12,062 casos de todas las formas de la enfermedad, 81% de tuberculosis pulmonar con una tasa de incidencia de 23.02 casos por 100,000 habitantes. La incidencia de la enfermedad es más alta en algunos departamentos del país como Amazonas (100.6 casos por 100,000 habitantes); Chocó (52.1 casos por 100,000 habitantes) y Risaralda (45.6 casos por 100,000 habitantes). Sin embargo, las entidades territoriales que concentran el mayor número de casos son Antioquia, Valle del Cauca y Bogotá, con el 41.5% de los reportados de todo el país [4].

## C. Tuberculosis en Medellín

Medellín es una de las ciudades en el país con mayor número de casos de tuberculosis. En total se reportaron 1,512 casos, con una tasa de 63.8 casos por cada 100,000 habitantes. La tuberculosis afecta principalmente a hombres jóvenes (Figura 1.). Los indicadores de seguimiento y tratamiento muestran que en Medellín el abandono del tratamiento es del 14% y que la curación sólo alcanza el 65% [5] (Figura 2.).

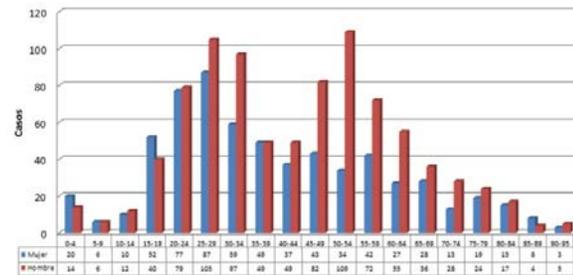


Figura 1. Distribución de casos de tuberculosis en todas las formas según edad y sexo. 2013 [5].

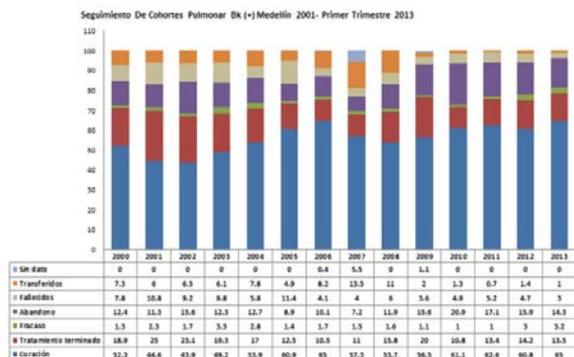


Figura 2. Indicadores de seguimiento al tratamiento. 2013 [5].

## D. Tuberculosis en Centros penitenciarios

Los centros penitenciarios son grandes reservorios de tuberculosis, son lugares en los que entran y salen personas diariamente, que pueden ser visitantes, servidores judiciales (su lugar de trabajo) o personas privadas de libertad. Eso hace que diariamente entren y salgan personas enfermas o infectadas del centro penitenciario aumentando el riesgo de transmisión desde y hacia la comunidad. En los centros penitenciarios, al igual que en la población general, hay personas con infección, que cuando presentan enfermedad activa, desencadenan el contagio. Un grupo de la Universidad de Antioquia viene realizando desde 2009 proyectos de investigación en distintas cárceles de la ciudad de Medellín, Colombia, en la que se encontró que el 77.6% de la población tiene la infección y la tasa de incidencia de tuberculosis es de 500 casos por 100,000 habitantes. Cabe anotar, que en general en la región de las Américas, las tasas de incidencia de tuberculosis en prisiones oscilan entre 400 y 2,500 casos por 100,000 habitantes. Una de las condiciones que más favorece la aparición de la enfermedad en las cárceles de Medellín es el hacinamiento, que alcanza hasta el 180% (Figura 3). Este grupo encontró, además, que cada año se infecta el 4.5% de las personas [2], [3].

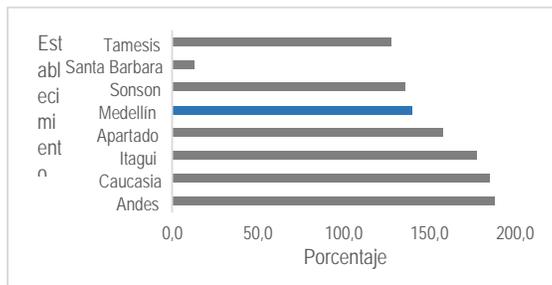


Figura 3. Porcentaje de hacinamiento de establecimientos penitenciarios de Antioquia. 2014 [6].

### III. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

#### A. Dinámica de Sistemas en Salud

La Dinámica de Sistemas se utiliza en diferentes actividades humanas. En salud, particularmente, tiene aplicación como herramienta para plantear actividades de seguimiento e intervención, además de ayudar a comprender la estructura, la interacción y la dinámica entre sus diferentes componentes sistémicos como apoyo para la formulación de políticas.

En 2009 la Organización Mundial de la Salud publicó un libro con recomendaciones para incorporar el pensamiento sistémico a las decisiones de salud titulado "Aplicación del pensamiento sistémico al fortalecimiento de los servicios de salud" [7].

Existen publicaciones que evidencian el uso de la Dinámica de Sistemas en diferentes patologías. Como herramienta para entender la dinámica de la evolución del cólera, partiendo del supuesto que era causado por diferentes factores, el modelo permitió evidenciar cuales variables intervenir para disminuir la enfermedad [8]. En Taiwán se realizó un estudio con el que se pudieron establecer políticas en las universidades para lograr obtener el número necesario de médicos pediatras de modo que se tuviera la relación necesaria para disminuir la tasa de mortalidad [9]. En Colombia se desarrolló un modelo para evaluar el impacto de algunos factores como la pobreza, la desnutrición y el desplazamiento sobre la tuberculosis [11].

Por otra parte, se encuentran modelos desarrollados para evaluar el impacto del cambio climático sobre la salud de las personas, principalmente en las poblaciones marginadas [10] o modelos integrales para investigar la sostenibilidad desde diferentes perspectivas que incluyen numerosos elementos del subsistema salud [12].

En este artículo se presenta el resultado de construir un modelo para explorar el número de personas enfermas e infectadas en función de algunas variables que se pueden intervenir como la tasa de infectados y la tasa de curación.

#### B. Fuentes de información para el Modelo

Para la realización del modelo se utilizaron datos provenientes de las instituciones de salud de la ciudad de Medellín, del Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario (INPEC) de Colombia y de los resultados de investigaciones realizadas por un grupo de la Universidad de Antioquia para conocer la situación de la enfermedad y la infección.

#### C. Construcción del Modelo

El modelo que se ha empezado a pensar y elaborar, y del que se presentan los resultados preliminares, es el producto de una tarea del curso de Dinámica de Sistemas 1, que hace parte del Doctorado en Gestión de la Tecnología y la Innovación que desarrolla una de las autoras en la Universidad Pontificia Bolivariana.

El uso de modelos dinámicos simulables permite evaluar de una forma diferente el problema de la tuberculosis, pues el control de esta enfermedad involucra muchos actores y una gran cantidad de variables, siendo la Dinámica de Sistemas un nuevo paradigma de referencia que podría dar unas pautas diferentes para su manejo y, de esta manera, diseñar intervenciones sistémicas que mejoren los indicadores y las metas en el control necesarios para prevenir y controlar la enfermedad.

Al momento de presentar este reporte, el modelo cuenta con tres Niveles: *Personas Recluidas*, *Personas Infectadas* y *Personas Enfermas*. El Nivel de *Personas Recluidas* se incrementa con los ingresos trimestrales nuevos retenidos al centro penitenciario, y decrece por las personas que salen en libertad y por las que son trasladadas a otros centros penitenciarios (tasa de traslados). El Nivel de *Personas Infectadas* se incrementa por la tasa de conversión a infección, estimada en 4.25% anual [13], y que decrece cuando las personas infectadas se convierten en enfermas (tasa de conversión a enfermedad). El Nivel de *Personas Enfermas* crece según la tasa de conversión de infección a enfermedad, la tasa de recaídas (personas que se curan y luego vuelven a enfermar) y la tasa de enfermedad en personas que tienen comorbilidades como SIDA, cáncer o diabetes y aquellas que

comprometen el sistema inmune, este Nivel disminuye cuando las personas se curan o mueren.

En la Tabla 1 de presentan los valores iniciales de los tres niveles y en la Figura 4 se presenta el diagrama de niveles y flujos del modelo.

Tabla 1. Valores Iniciales de los Niveles.

Nivel	Valor Inicial
Personas Recluidas	2,000
Personas Infectadas	1,400
Personas Enfermas	15

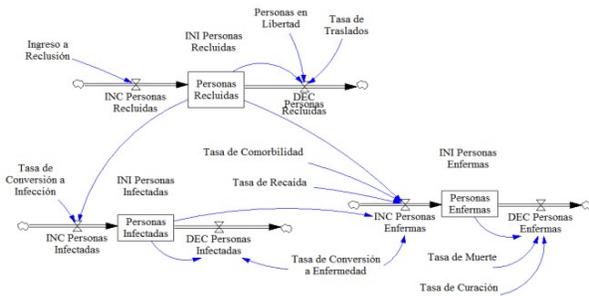


Figura 4. Diagrama de Niveles y Flujos.

**D. Escenarios de Simulación**

Para la construcción de los escenarios se tuvo en cuenta el estado actual de los indicadores del programa de tuberculosis, de manera que modificando algunos de ellos se pudiera evaluar en qué condiciones se lograría modificar el control de la enfermedad.

La estrategia "alto a la tuberculosis" ha sido definida por la OMS, y con ella se dan directrices con respecto a la captación de sintomáticos respiratorios, el diagnóstico y el tratamiento de la enfermedad. Entre las acciones recomendadas para la captación de sintomáticos se encuentra la búsqueda activa, que consiste en hacer campañas de búsqueda de personas con síntomas para hacer diagnóstico oportuno, además considera que el tratamiento sea asumido por el estado y que sea supervisado para alcanzar las metas de curación del 95%. Considera, también, aspectos relacionados con la abogacía, políticas específicas y sistemas de información.

En este modelo se simulan durante 40 trimestres, y con un delta de tiempo trimestral, tres escenarios (Tabla 2): *Tendencial*, con los indicadores de tratamiento y el flujo

de personas que tiene la cárcel actualmente; *Pesimista*, en el que las cosas empeoran, los indicadores de curación son bajos, no se usan mascarillas de protección respiratoria y no se controla el ingreso de personas al centro penitenciario y, por último, el escenario *Optimista* en el que se logra implementar la estrategia "alto a la tuberculosis", alcanzando altas tasas de curación y descongestionando la cárcel.

Tabla 2. Valores de escenarios.

Tasa \ Escenario	Negativo	Tendencial	Positivo
Tasa de conversión a infección	0,06	0,05	0,01
Tasa de curación	0,40	0,60	0,90
Tasa de muerte	0,03	0,05	0,01
Número de internos que ingresan	400	300	200

**IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La construcción de los escenarios permitió evidenciar que la modificación de algunas variables tiene un efecto sobre el número de personas infectadas y enfermas con sólo modificar la tasa de conversión a infección y la tasa de curación. Ambos son indicadores de funcionamiento del programa de tuberculosis y posibles de modificar con acciones no muy complejas. Por ejemplo, la tasa de conversión a infección se puede controlar usando mecanismos de barrera como mascarillas y, la de curación, haciendo supervisión y garantizando la adherencia al tratamiento.

Con la simulación se observa que si el ingreso de reclusos es 200, en promedio, el número de personas recluidas permanece constante en el tiempo, mientras que cuando es entre 300 y 400, el número de personas recluidas aumenta (Figura 5). Esto evidencia que si se controla el ingreso, el hacinamiento dentro de la cárcel puede disminuirse.

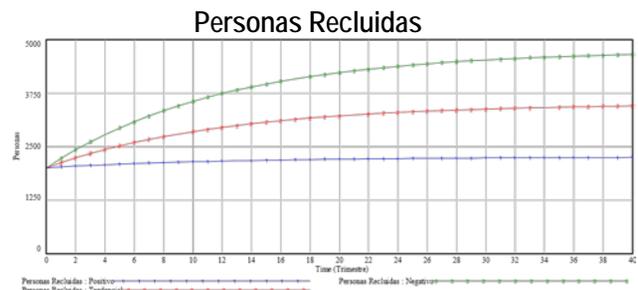


Figura 5. Escenarios de Personas Recluidas.

El número de personas infectadas y el de enfermas tienen relación entre sí y con el número de personas reclusas. Se puede observar que cuando la curación alcanza el 90%, la tasa de conversión es del 1% y el ingreso de personas a la cárcel es de 200, se logra disminuir el número de personas infectadas y de personas enfermas, siendo mayor la disminución de personas infectadas.

Caso contrario ocurre cuando la curación es baja y el ingreso de personas al centro penitenciario es alto, pues se observa que la infección puede alcanzar al 100% de la población y las personas enfermas podrían llegar al ser el 10% de la población (Figuras 6 y 7).

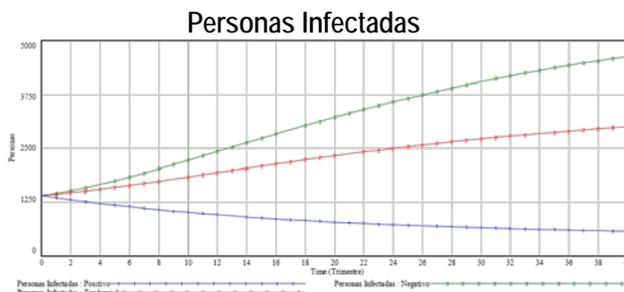


Figura 6. Escenarios de Personas Infectadas.

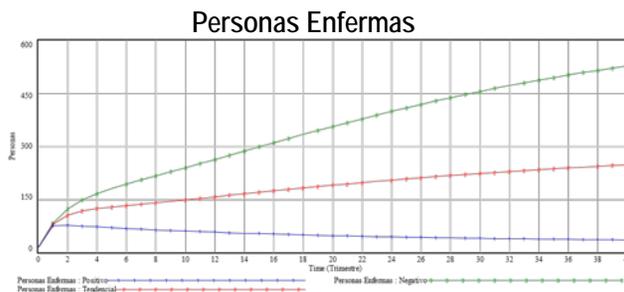


Figura 7. Escenarios de Personas Enfermas.

### V. CONCLUSIONES

La aproximación al estudio de la Tuberculosis en centros de reclusión desde de la Dinámica de Sistemas permite evaluar diferentes escenarios y explorar qué es lo que pasa cuando se modifican componentes particulares del modelo y, de esta forma, permite simular diferentes intervenciones que puedan contribuir a controlar la enfermedad.

Al hacer la simulación se encontró que cuando la tasa de conversión a infección alcanza el 6%, a los 10 años toda la población carcelaria estará infectada y cerca del 10% estará enferma.

A raíz de este ejercicio preliminar y exploratorio, se ha identificado que crear un programa de investigación en Dinámica de Sistemas sobre asuntos de Tuberculosis es pertinente, necesario y oportuno, y permitirá apoyar al programa de gestión de la enfermedad en los centros penitenciarios de la ciudad de Medellín.

### VI. REFERENCIAS

[1] WHO | World Health Organization, "WHO. [Online]. Available: [http://www.who.int/tb/publications/.../gtbr14\\_execsummary\\_es.pdf](http://www.who.int/tb/publications/.../gtbr14_execsummary_es.pdf). [Accessed: 14-Aug-2015].

[2] A. Ata and others, Guía para el control de la tuberculosis en poblaciones privadas de libertad de América Latina y el Caribe. OPS, 2008.

[3] Z. V. Rueda, L. López, L. A. Vélez, D. Marín, M. R. Giraldo, H. Pulido, L. C. Orozco, F. Montes, and M. P. Arbeláez, "High incidence of tuberculosis, low sensitivity of current diagnostic scheme and prolonged culture positivity in four Colombian prisons. A cohort study," 2013.

[4] O. P. de la S. Colombia, Plan estratégico. Colombia libre de tuberculosis 2010-2015: Para la expansión y fortalecimiento de la estrategia Alto a la TB. MPSINS Bogotá, 2009.

[5] "Boletín epidemiológico Medellín Ciudad Saludable," Medellín. [Online]. Available: <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/Suportal>

[6] delCiudadano\_2/PlandeDesarrollo\_0\_19/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2014/BoletinEpidemiologico/Bol etinepidemiologico3.pdf. [Accessed: 14-Aug-2015].

[7] Lopez Solorzano Imela, "INFORME RENDICIÓN DE CUENTAS DIRECCION REGIONAL NOROESTE VIGENCIA 2014."

[8] D. De Savigny and T. Adam, Aplicación del pensamiento sistémico al fortalecimiento de los sistemas de salud. World Health Organization, 2010.

[9] J. P. Tian and J. Wang, "Global stability for cholera epidemic models," Math. Biosci., vol. 232, no. 1, pp. 31–41, Jul. 2011.

[10] M.-H. . Wu, J.-Y. . Yu, and C.-H. . Huang, "Theoretical system dynamics modeling for Taiwan pediatric workforce in an era of national health insurance and low birth rates," Pediatr. Neonatol., vol. 54, no. 6, pp. 389–396, 2013.

[11] L. Pantoja, "Dinámica de Sistemas aplicada a la Epidemiología de Tuberculosis en una Localidad Periférica de Bogotá, Colombia."

- [11] R. b Díaz, J. . b Behr, A. . b Jeng, H. . Lu, and F. . Longo, "Analyzing the effects of policy options to mitigate the effect of sea level rise on the public health and medically fragile population: A system dynamics approach," in *Emerging M and S Applications in Industry and Academia Symposium 2012, EAIA 2012 - 2012 Spring Simulation Multiconference, 2012*, pp. 47–54.
- [12] L. Gallón Londoño, "Modelo de sostenibilidad regional: dinámica de sistemas para enfrentar la pobreza en Suramérica.," 2012.
- [13] Z. V. Rueda, L. Arroyave, D. Marin, L. Lopez, Y. Keynan, M. R. Giraldo, H. Pulido, and M. P. Arbeláez, "High prevalence and risk factors associated with latent tuberculous infection in two Colombian prisons," *Int. J. Tuberc. Lung Dis.*, vol. 18, no. 10, pp. 1166–1171, 2014.

## AUTORES



**Lucelly López**, Estudiante Ph.D. en Gestión de la Tecnología y la Innovación Universidad Pontificia Bolivariana. Profesor Asociado Escuela de Ciencias de la Salud. Universidad Pontificia Bolivariana. Especialista en Estadística por la Universidad Nacional de Colombia (UNAL, 2008) en Medellín. Gerente en Sistemas de Información por la Universidad de Antioquia (UdeA, 2001) en Medellín, Colombia.



**Luciano GALLÓN**, Ph.D. (IEEE SM'06) Profesor Titular Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Pontificia Bolivariana. Doctor en Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC, 2012) en Barcelona, España. Magíster en Gestión Tecnológica e Ingeniero Electrónico por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB, 2004, 1993) en Medellín, Colombia. Entre los intereses de investigación se encuentran la Dinámica de Sistemas, la Sociocibernética, la Sostenibilidad y la Singularidad. Miembro de: IEEE; IEEE *Technology and Engineering Management Society*; IEEE *Social Implications of Technology Society*; *International Sociological Association (ISA)*; *ISA Research Committee 51 on Sociocybernetics y System Dynamics Society*.

## 55. A SIMULATION MODEL OF FOREIGN TRADE OF RICE

VICENTE RAMÍREZ, ADRIANA ACOSTA, IXHEL MEJÍAS

Universidad de Los Andes - Venezuela (Bolivarian Republic of)  
ramirez.vicente@gmail.com, adrianaeah63@gmail.com, ixalejandra@gmail.com

### ABSTRACT

This paper presents the development of a simulation model of foreign trade of rice in Venezuela, considering the process of importing and exporting this commodity, through the methodology of System Dynamics. The variables and their relationships were specified, referring to the marketing of rice, and then the model was made, by using the software Vensim.

Afterwards, the corresponding validations were made, and different scenarios were studied, which gave answers to approaches emerging from the interaction between the national production of paddy rice, the illicit trade, national consumption, and imports and exports of the cereal through Puerto Cabello and La Guaira. The results of the simulations indicate that if the national production of paddy rice is low, then it will be imported the amount of rice needed to satisfy the national intake and part of the illicit trade. It was confirmed that in order to export rice, the national production should be more than twice the amount that was obtained in 2012. When paddy rice and wholly milled rice are imported in similar proportions, the national consumption is satisfied faster than when only paddy rice is imported.

Moreover, when the intake of rice increases more than 30%, the population consumption is not totally satisfied, even though large amounts of rice are imported, because the capacity to ensile and dispatch the rice in the ports is limited.

**KEYWORDS:** rice, import, export, consumption, foreign trade, System Dynamics.

### I. INTRODUCCIÓN

El ARROZ constituye uno de los componentes esenciales de la cesta básica de los venezolanos, en los últimos tiempos se observa que a medida que aumenta la población, también lo hace el consumo de arroz. En el 2008 el consumo anual per cápita era de 14,5 kg y al pasar los años, este se ha incrementado de manera importante, obteniéndose un consumo de 23,5 kg por persona en el año 2012 [1].

Según El Universal [2], durante los primeros cinco meses del año 2012, las importaciones de arroz paddy y blanco, superaron las compras realizadas desde el año 2007. Hasta mayo del año 2012, de acuerdo con las cifras del Instituto Nacional de Estadística (INE), hubo un aumento de 75,61% de importación de arroz, comparado con todas las toneladas que se importaron en el año 2011. Las importaciones de arroz provienen principalmente desde Estados Unidos, considerándose que a medida que pasan los años el

porcentaje de importación del rubro es cada vez mayor [2]. Según el INE, desde el año 2014 Guyana ha sido el segundo país al que se le ha comprado más arroz y Argentina es el tercer proveedor a nuestro país. Además, desde el año 2010 hasta agosto del 2014 se realizaron exportaciones del rubro a Cuba y a Aruba, en pequeñas cantidades [1].

Para finales del año 2013, el dirigente de Fevearroz, Fuaz Kaseen indicó que las cosechas de verano y de invierno de ese año fueron buenas, pues la producción cubrió el 56% de la demanda, y que se requeriría importar el restante 44% de arroz, lo cual estaría estimado en unas 420.000 t (toneladas) para abastecer al consumo interno [3].

El INE [1], en sus estadísticas anuales de comercio exterior, muestra que Venezuela a partir del año 2006 ha dejado de ser un país exportador de arroz para convertirse en un importador, por lo tanto surge el interés de investigar el proceso del comercio exterior

del rubro, el cual permitirá el abastecimiento de la ingesta nacional. Se propone un modelo mediante el cual se pueda simular el comportamiento del comercio exterior de arroz en Venezuela, indicando las variables que deberían modificarse para aumentar la producción del rubro, satisfacer completamente la demanda de los venezolanos e impulsar la exportación del mismo.

El objetivo de este trabajo fue elaborar un modelo de simulación del comercio exterior de arroz en Venezuela, a través de la metodología Dinámica de Sistemas, propuesta por Forrester [4] y Sterman [5]: a) Se recolectó información acerca de las noticias relacionadas con el comercio exterior en Venezuela, para realizar un contraste del sistema por medio de dos puntos de vista: desde la perspectiva internacional y desde la perspectiva nacional; b) Se diseñó un modelo de simulación en base a la descripción del sistema real, utilizando como herramienta el software Vensim [6]; c) Se realizaron ajustes al modelo mediante la recolección de los datos con los cuales se estimaron los parámetros que inciden en el comercio exterior del arroz; d) Se efectuó la validación del modelo, mediante los datos históricos; e) Se vislumbró el comportamiento del comercio exterior de arroz en Venezuela a través del análisis de escenarios, como fundamentos para la toma de decisiones.

## II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA REAL

### A. CONSIDERACIONES GENERALES

El proceso de comercio exterior de arroz en Venezuela se presenta principalmente por la importación del mismo, evaluando el nivel de inventario que se encuentra en el país. Este se obtiene tomando en cuenta la producción nacional, el arroz que se encuentra en el comercio, el consumo per cápita y lo que se desvía por comercio ilícito. Una parte de la demandada se satisface a través de la producción nacional y la otra comprando primordialmente arroz paddy y arroz blanqueado de Estados Unidos, Guyana, Argentina, Brasil, entre otros países, e ingresa a Venezuela por Puerto Cabello y por La Guaira. El arroz paddy es trasladado a la agroindustria, donde se procesa y se empaqueta para su posterior comercio. En el caso de que el arroz blanqueado provenga en sacos, también es llevado a las procesadoras para empaquetarlo y finalmente distribuirlo. En cuanto a las exportaciones, desde el año 2014, se prohibió la exportación de arroz, debido a que es un alimento de primera necesidad y su ingesta no se satisface recurrir a las importaciones

únicamente con la producción nacional, sino que hay que recurrir a las importaciones.

### B. IMPORTACIONES

Para observar las importaciones de arroz en Venezuela, durante los últimos años, se revisó la información que muestra la página web del INE [1]. Los principales países a los cuales se les ha comprado arroz han sido Estados Unidos, Guyana, Argentina, Brasil, México, Tailandia y Chile. Las importaciones, que han crecido desde el año 2007 y se han mantenido relativamente altas hasta lo que va del año 2015, son realizadas únicamente por la Corporación de Abastecimientos y Servicios Agrícolas (CASA). Cuando el arroz blanqueado proviene en sacos es empaquetado y distribuido sólo por esta Corporación. Las importaciones de arroz por países se muestran en la Fig. 1.

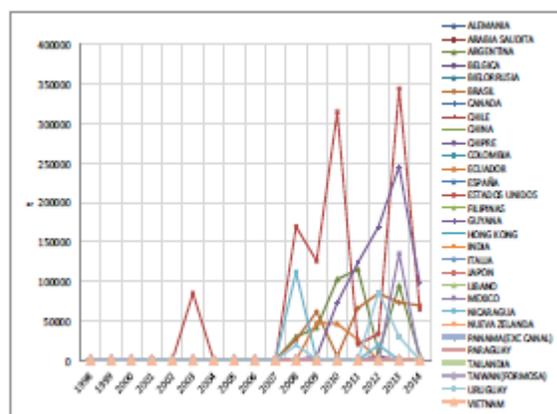


Figura 1. Importación total de arroz (t) por países 1998-2014. Fuente: INE [1].

Desde el año 1998 hasta el año 2007 se importaba más arroz blanqueado, listo para el consumo que arroz con cáscara, excepto en el año 1999 que hubo un alto porcentaje de arroz paddy. A partir del año 2008 se invierten las adquisiciones, en promedio se importa 15% de arroz blanqueado aproximadamente y de arroz paddy el restante 85%, el cual se distribuye a las procesadoras y posteriormente éstas lo empaquetan para el consumo nacional.

El arroz descascarillado (pardo) y el arroz partido no se consideraron en la investigación debido a que se encuentran en cantidades muy pequeñas y no afectan el proceso de comercialización.

### C. EXPORTACIONES

Desde el año 1998 hasta el año 2007 se exportaba arroz hacia diferentes países, entre los cuales se encontraban: Antillas Holandesas, Aruba, Bonaire,

Colombia, Curazao, Islas Turcas, El Salvador, Estados Unidos, Guatemala, Trinidad & Tobago y Turquía, según el INE [1]. Antes del año 2014 se podía exportar, cuando se tenían los requisitos necesarios, como por ejemplo, el Certificado de Demanda Interna Satisfecha. No obstante, en agosto de dicho año se publicó en la gaceta oficial N° 40481 la prohibición de exportación de arroz. Es por ello que no se muestran exportaciones oficiales desde el 22 de agosto del año 2014.

#### D. PRECIO DE LAS IMPORTACIONES

Además de suministrar datos referentes a las cantidades de arroz que se comercializan (en kilogramos brutos y netos), el INE muestra los precios en Bolívares y Dólares de dichas cantidades FOB (Free On Board) [7].

Para obtener el precio en bolívares de cada kilogramo de arroz se efectúa el cociente de los FOB Bolívares entre los kilogramos brutos que son expuestos por el INE [1]. Entre los precios de arroz paddy se encuentran los siguientes: los valores más elevados corresponden al Líbano en el año 2007 con un precio de 19,52 Bs/kg, Argentina en el año 2013 con un precio de 18,37 Bs/kg y Bélgica en el año 2010 con 15,42 Bs/kg. A través de los años, el aumento de los precios de importación de arroz paddy ha sido progresivo. Desde el año 1998 hasta el año 2003 estos no superaban la cantidad de 1,6 Bs/kg, excepto el valor espurio de Taiwán en 1999 con 2,99 Bs/kg. En el año 2004 se encuentran dos valores altos por parte de Estados Unidos y Colombia, de 2,9 Bs/kg y 4,6 Bs/kg, respectivamente. Desde el año 2005 hasta el año 2013 subieron gradualmente los precios del arroz, el mayor valor corresponde a Taiwán en el 2009 de 5,38 Bs/kg. Con respecto al arroz blanqueado, los que poseen los valores más altos son Bélgica, Chile y España (en el año 2010), con precios de 56,61 Bs/kg; 18,6 Bs/kg y 20,46 Bs/kg, respectivamente. Los valores más pequeños corresponden a España en el año 2000 y Hong Kong en el año 2002, de 0,06 Bs/kg y 0,12 Bs/kg, respectivamente.

#### E. CONSUMO DE ARROZ DIARIO POR PERSONA

El consumo de arroz por persona en Venezuela ha permanecido sin grandes alteraciones en los últimos diez años, sin embargo hubo un cambio evidente entre el segundo semestre del año 2010 y el primer semestre del año 2011 pues en el primero se consumió en promedio 57,61 gr/persona\*día, mientras que en

segundo se consumió 65,1 gr/persona\*día, aumentándose así en 11,5% para dicho año.

Se mantuvo alrededor de los 65,5 gr hasta el primer semestre del año 2012. También se puede observar que el año 2013 presenta los menores valores de gramos consumidos en esta década, llegando a 52,81 gr/persona\*día, ocurriendo una disminución de 14,7%. En este último año se tiene que los habitantes del país consumieron 19,5 kg per cápita en promedio para ambos semestres, a diferencia del año 2012 que se llegó a consumir 23,5 kg/persona\*año.

#### F. COMERCIO ILÍCITO DE ARROZ

El comercio ilegal de arroz en Venezuela es un problema que se viene presentando desde hace mucho tiempo, al igual que con otros productos, principalmente en la frontera con Colombia. El principal factor, que incide en esta situación, es el gran diferencial de precios del alimento en ambos países, (regulado y subsidiado en Venezuela y de libre demarcación en Colombia) que genera un estímulo de exuberantes ganancias a quienes se dedican al contrabando de extracción hacia el vecino país. Hay innumerables noticias que muestran lo anteriormente expuesto. Sin embargo, es difícil estimar la cantidad exacta de arroz que sale de Venezuela por el mercado ilícito, debido a que no hay un control certero en la frontera con Colombia y Brasil que permita conocer cifras precisas.

#### G. MERCADO INTERNACIONAL DE ARROZ

Como señala el Departamento de Estadísticas de Agricultura de Estados Unidos [8], los países con la producción de arroz más alta a nivel mundial son: China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Tailandia, Birmania, Filipinas, Brasil, Japón, Estados Unidos, Pakistán, Egipto, Camboya y Corea del Sur, ordenados de forma descendente [9]. Para el año 2013 la posición de Venezuela en el mundo fue de trigésimo séptima.

Para el año 2013 el continente asiático fue el mayor productor del rubro con un 90.5% de la producción total mundial, América produjo el 4.89%, África el 3.93%, Europa el 0,52% y Oceanía el restante 0.21% [8]. Según la All India Rice Exporters' Association (AIREA), los mayores países exportadores del cereal en los últimos años han sido Argentina, Australia, Brasil, Birmania, Camboya, China, Egipto, Estados Unidos, Guyana, India, Pakistán, Paraguay, Rusia, Tailandia, Uruguay y Vietnam [10]. Entre estos países, los valores

más altos, en miles de toneladas, corresponden a Tailandia, Vietnam y la India, cuyos valores de exportación superan en promedio las 6.000 t desde el 2008 hasta el 2014.

Las importaciones de arroz a nivel mundial más altas corresponden a cifras mayores a 400.000 t como Camerún, hasta países como Nigeria que supera 2.500.000 t [10]. Los países que más se alimentan del cereal, en orden descendente, son China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Filipinas, Birmania, Tailandia, Japón, Brasil, Nigeria, Corea del Sur, Estados Unidos, Egipto, Camboya y Nepal [10].

### III. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo del comercio exterior de arroz en Venezuela fue elaborado basándose en la descripción del sistema real, considerando los siguientes supuestos:

1. El arroz partido y el arroz descascarillado se ubican en el comercio exterior en muy pequeñas cantidades, por lo tanto no se toman en cuenta en el modelo.
2. Todo el arroz que se produce y se empaqueta en el país se distribuye sin problemas en todos los establecimientos comerciales.
3. La capacidad de empaquetamiento es ilimitada, todo el arroz blanqueado que se importa se puede empaquetar.
4. Todo lo que llega a los silos, se recibe. No se ha visto hasta ahora que la capacidad de almacenamiento se llene completamente.
5. Todo el arroz blanqueado importado se empaqueta en las procesadoras del país.
6. El comercio ilícito de arroz en el país es de aproximadamente 20%.
7. Las demoras referentes al proceso de importación y al desembarque del cereal en los puertos se sitúan alrededor de tres semanas.
8. El déficit de inventario estimado se importa por completo.
9. La cantidad demandada de arroz en el país viene dada por la suma del consumo nacional más el comercio ilícito.

### H. ARROZ EN EL COMERCIO NACIONAL

Para analizar el comercio exterior de arroz, es necesario estudiar inicialmente la dinámica del comercio nacional del mismo, representada a través de la estructura que se muestra en la Fig. 2. El arroz en el comercio está influenciado por el arroz que proviene de la industria, el cual comprende el arroz

blanco que es importado y sólo se empaqueta en el país, así como también el arroz paddy que es procesado en la agroindustria nacional, y se traslada al mercado, para su posterior comercio.



Figura 2. Estructura para estimar el comercio de arroz en Venezuela.

El nivel Arroz en el comercio (t) representa la cantidad de arroz que está listo para el consumo. Una parte del arroz que proviene de la industria es consumido por la población y la otra parte es extraída del país a través del comercio ilícito.

Dicho nivel se calcula a partir de la ecuación (1).

Arroz en el comercio = INTEG (de industria + comercio ilícito - consumo nacional, INICIAL ARROZ EN EL COMERCIO). (1)

El arroz en el comercio aumenta a través del flujo de industria (t/semana), donde se suman el arroz que viene del procesamiento junto con el que viene del empaquetado y disminuye por los flujos de salida comercio ilícito (t/semana) y consumo nacional (t/semana).

El PORCENTAJE A COMERCIO ILÍCITO (adimensional) se mantiene constante, suponiendo que se encuentra alrededor de 20% de lo que se procesa en la industria nacional. El consumo nacional (t/semana) del cereal en el país se determina por la ingesta nacional (t/personas\*semana), si esta cantidad es mayor o igual que la cantidad que se encuentra en el comercio, entonces el consumo se satisface, en caso contrario, la ingesta será sólo de lo que se encuentre en los anaqueles.

Para obtener la ingesta nacional (t/personas\*semana) se multiplica el CONSUMO PÉR CAPITA (t/semana\*persona) por la población (personas). La variable población (personas) crece a medida que transcurren los años. Para ello, se realizó una

regresión lineal, usando la variable año, para que cuando se decida realizar las simulaciones por más tiempo, la población se incremente con dicho modelo; el cálculo de la y el tiempo de simulación. Así mismo, la satisfacción de la demanda (t) se calcula a través de la diferencia entre ingesta total nacional (t/semana) y el Arroz en el comercio (t).

Para obtener la cantidad de arroz deseada (t/semana) en el país se suma el consumo nacional (t/semana) y el comercio ilícito (t/semana) del cereal, influenciados por el parámetro constante DE PADDY A BLANQUEADO (adimensional), debido a que las estimaciones de la cantidad deseada para satisfacer la demanda se realizan en arroz paddy, no en arroz blanco, por lo tanto se usa este factor de conversión. Cuando el déficit en inventario (t) es positivo, es decir, no se satisface el consumo nacional, entonces es necesario importar el rubro.

**A. IMPORTACIÓN DE ARROZ PADDY Y DE ARROZ BLANQUEADO**

La Fig. 3 muestra la estructura usada para calcular la cantidad total a importar de arroz (t) de acuerdo a la cantidad que se requiere adquirir de arroz paddy y de arroz blanqueado, éstas son muy importantes dentro del modelo, pues a través de ellas, junto con la producción se satisface la demanda nacional.



Figura 3. Estructura para calcular la cantidad de arroz a importar.

La cantidad total a importar de arroz (t) se obtiene a través de la adición de la cantidad a importar de arroz paddy (t) y la cantidad a importar de arroz blanco (t). Para obtener la cantidad a importar de arroz paddy (t) y la cantidad a importar de arroz blanco (t) se evalúa la condición que indica que si el déficit que se encuentra en inventario es positivo, entonces, se importará esa cantidad multiplicada por la fracción de déficit a importar (adimensional) y por el porcentaje que indica la FRACCIÓN IMPORTACIÓN PADDY (adimensional). A diferencia del arroz

blanqueado debe multiplicarse por el factor de conversión DE PADDY A BLANQUEADO (adimensional), con el cual se determina lo equivalente de paddy en arroz blanco.

El déficit en inventario (t) se obtiene mediante la diferencia entre cantidad de arroz deseada (t) y lo que hay en el nivel de Arroz en el comercio (t). Si es negativo, no se importa arroz, en cambio si es positivo, se importa dicha cantidad. La fracción de déficit a importar (adimensional) se consigue con la normalización del déficit en inventario (t) a través de la tabla de déficit a importar (adimensional) y el DEFICIT NORMAL (adimensional).

**B. ARROZ EN PROCESAMIENTO**

En la Fig. 4 se muestra la estructura del procesamiento de arroz paddy tanto nacional como importado, para ser transformado en arroz blanco listo para el consumo.

El nivel Arroz en procesamiento (t) se calcula mediante la ecuación (2), su flujo de entrada es a procesamiento (t/semana) y su flujo de salida es el arroz procesado a mercado.

Arroz en procesamiento = INTEG (a procesamiento - procesado a mercado, INI ARROZ EN PROCESAMIENTO)

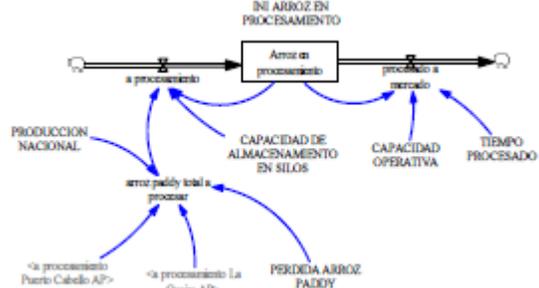


Figura 4. Estructura para calcular el nivel Arroz en procesamiento.

El arroz paddy que va a procesamiento (t/semana) depende del arroz que hay en el nivel de Arroz en procesamiento (t), del arroz paddy total a procesar (t/semana) y de la CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO EN SILOS (t). Si dicha capacidad menos el arroz que hay en el nivel es mayor que el arroz paddy a procesar, entonces se puede procesar el total de arroz paddy, contrariamente se procesará sólo lo que cubre la capacidad de almacenamiento.

Esta condición se encuentra en el flujo a procesamiento (t/semana).

Al sumar el arroz paddy importado proveniente de Puerto Cabello y de La Guaira con el arroz paddy producido en el país, se obtiene la cantidad de arroz paddy total a procesar (t/semana). El flujo de arroz procesado a mercado (t/semana) depende del arroz que hay en el nivel además de la CAPACIDAD OPERATIVA (t) y el TIEMPO DE PROCESADO (semana). Estos parámetros limitan la cantidad del cereal procedente de lo que se encontraba en el nivel. Este arroz que se encuentra procesado a mercado (t/semana) ya está empaquetado y listo para consumirlo, por lo tanto no se destina a la otra etapa de empaquetamiento.

### C. ARROZ BLANQUEADO EN EMPAQUETAMIENTO

El arroz blanco listo para el consumo, importado, que llega a los puertos, se empaqueta en las procesadoras nacionales y luego es distribuido al mercado. La estructura para ello se muestra en la Fig. 5.



Figura 5. Estructura para calcular el nivel Arroz en empaquetamiento.

La ecuación (3) corresponde al nivel Arroz en empaquetamiento (t), el cual depende sólo del arroz blanqueado a empacar (t/semana) que es trasladado a la procesadora desde Puerto Cabello y desde La Guaira y su salida es el arroz ya empaquetado a mercado (t/semana) y listo para el consumo.

$$\text{Arroz en empaquetamiento} = \text{INTEG} \left( \begin{array}{l} \text{a empacarempaquetado a mercado,} \\ \text{INICIAL ARROZ EN EMPAQUETAMIENTO} \end{array} \right) \quad (3)$$

El empaquetado a mercado se calcula mediante el cociente de Arroz en empaquetamiento (t) entre el TIEMPO EMPAQUETADO (semana).

### D. ARROZ EN PUERTOS

El arroz importado llega a los puertos Puerto Cabello y La Guaira, principalmente desde Estados Unidos, Guyana, Argentina, Brasil, entre otros países. Sin embargo, para efectos del modelo, se estudiaron Estados Unidos (USA) y Guyana (GUY) como principales países proveedores, en variables separadas, debido a que juntos suman más del 50% de las importaciones, mientras que las cantidades del resto de los países se agrupan en la variable arroz paddy otros países (t). En el modelo se plantean cuatro estructuras para estudiar el comportamiento en los puertos; dos corresponden al arroz paddy, una para cada puerto, y las otras dos corresponden al arroz blanqueado, también una para cada puerto. La estructura diseñada es análoga para las cuatro variables, por lo tanto, sólo se detalla una de ellas.

La Fig. 6 representa la estructura para el cálculo de la variable total arroz paddy a Puerto Cabello (t), que depende de la cantidad a importar de arroz de cada país (Guyana, Estados Unidos y otros). La estructura también muestra un tercer país, la razón de esto es que cuando el modelo se simule para otros años en los que Guyana y Estados Unidos ya no representen más del 50% de las importaciones, se podrán agregar los parámetros de importación correspondientes a esta variable.

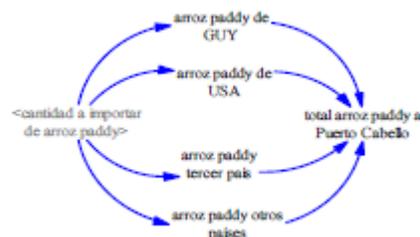


Figura 6. Estructura para el cálculo de la variable total arroz paddy a Puerto Cabello.

La cantidad total arroz paddy a Puerto Cabello (t) se calcula al sumar las cantidades de arroz paddy que se compran a cada país. Cuando se realizan las importaciones, el arroz paddy proveniente de Guyana representa el 19%, de Estados Unidos el 44%, del tercer país 0% y el de otros países el restante 37%. Mientras que el arroz blanqueado proveniente de Estados Unidos representa el 25% de la cantidad a importar arroz blanco (t), de Guyana el 50%, del tercer país 0% y de otros países el restante 25%.

El nivel Arroz paddy La Guaira (t) tiene como flujo de entrada la llegada de arroz paddy a dicho puerto y como flujo de salida el arroz que será llevado a

procesamiento, como se muestra en la Fig. 7. El cálculo de este nivel se realiza con la ecuación (4). AP es la abreviación de arroz paddy y LG la de La Guaira.

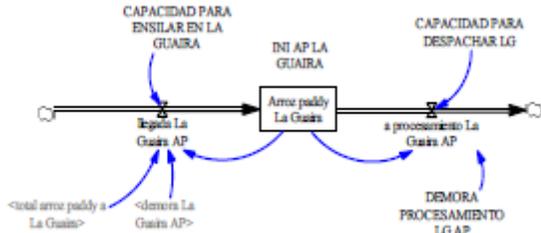


Figura 7. Estructura para calcular el arroz paddy en La Guaira.

Arroz paddy La Guaira= INTEG (llegada La Guaira AP – a procesamiento La Guaira AP, INI AP LA GUAIRA) (3)

La llegada de arroz al puerto de La Guaira se obtiene mediante la condición que indica que si hay suficiente *CAPACIDAD PARA ENSILAR EN LA GUAIRA* ( $t$ ), entonces se puede admitir el total arroz paddy a La Guaira ( $t$ ), de lo contrario sólo se aceptará la cantidad equivalente al espacio disponible. La demora que ocurre en la importación de arroz (tiempos que tarda en llegar y descargar en el puerto), se representa a través de la variable demora La Guaira AP (semana). El flujo de salida a procesamiento La Guaira AP ( $t$ /semana) indica que cuando la capacidad que hay para despachar en La Guaira menos la cantidad del cereal que hay en el nivel es mayor que dicha cantidad, entonces se le puede extraer esa cantidad dividida entre la *DEMORA PROCESAMIENTO LG AP* (semana), en caso contrario, sólo se extraerá la cantidad correspondiente a la capacidad para despachar.

De manera similar se diseñaron las estructuras del arroz blanqueado en La Guaira y del arroz paddy en Puerto Cabello y las ecuaciones se obtienen de forma análoga.

### E. VARIABILIDAD DE LAS DEMORAS DE IMPORTACIÓN

Las demoras en las importaciones del cereal en el país involucran los tiempos de traslado desde el origen a su destino, trámites legales para carga y descarga y la espera en los puertos de Cartagena y Panamá para poder ingresar la mercancía a Venezuela. Como todas estas operaciones presentan variabilidad en los tiempos de ejecución, se decidió representarlas por medio de la aleatoriedad que genera el ruido rosa [5], con la finalidad de darle realismo al modelo. Sterman

señala que el ruido rosa es una función exponencial suavizada de primer orden que contiene un ruido blanco, generando valores aleatorios y estos a su vez, en dos tiempos diferentes no guardan correlación estadística.

### F. EXPORTACIÓN DE ARROZ

A pesar de haber prohibición de exportación de arroz en el país, debido a que es un alimento de primera necesidad y la producción nacional no cubre la demanda, se ha diseñado la estructura que permita la exportación de arroz paddy de producción nacional cuando haya en exceso, como se observa en la Fig. 8.

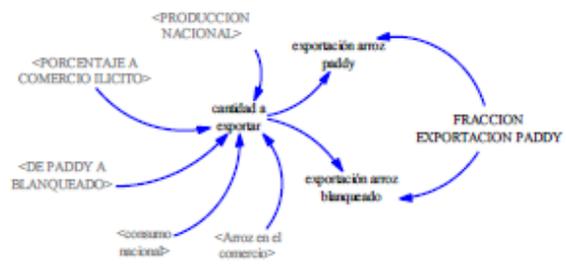


Figura 8. Estructura para calcular la cantidad de arroz a exportar.

La cantidad de *PRODUCCIÓN NACIONAL* ( $t$ ) es un factor determinante para poder exportar, es decir, que si dicho valor es mayor que la cantidad deseada de arroz dentro del país, entonces se exportará la diferencia entre la producción de arroz paddy y la cantidad que se necesita para satisfacer el consumo nacional y el comercio ilícito. Si se presentara otro caso, entonces no se exporta. Además, la cantidad de exportación arroz paddy ( $t$ ) y de exportación arroz blanco ( $t$ ) dependen de del porcentaje dado por la *FRACCION EXPORTACIÓN PADDY* (adimensional).

### G. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

En la Tabla I se presentan los parámetros que se usaron en el modelo. Algunos de ellos fueron recopilados de fuentes bibliográficas, siendo contrastados con lo que se reporta en las noticias, otros fueron calculados a partir de datos encontrados en las diversas fuentes y los demás fueron calibrados con la finalidad de obtener la respuesta esperada del modelo.

TABLA I. PARÁMETROS DEL MODELO.

Parámetro	Valor	Unidades
CAP DE ALMACENAMIENTO EN SILOS	650000	t
CAPACIDAD OPERATIVA	25.000	t
CAPACIDAD PARA DESPACHAR LG	11.200	t/semana
CAPACIDAD PARA DESPACHAR PC	33.600	t/semana
CAPACIDAD PARA ENSILAR EN LG	11.782	t
CAPACIDAD PARA ENSILAR PC	71.730	t
CONSUMO PER CAPITA	0,00045192	t/(persona* semana)
DE PADDY A BLANQUEADO	64%	Dmnl
FRACCION IMPORTACION PADDY	80%	Dmnl
PORCENTAJE A COMERCIO ILCITO	20%	Dmnl
PRODUCCION NACIONAL	781.070	t
TIEMPO PROCESADO	1	semana

Fuente: Elaboración propia.

#### IV. SIMULACIÓN BASE

En el modelo se utilizó la "semana" como unidad de tiempo de simulación. La corrida base se realizó para un periodo de 52 semanas, equivalente a un año. Con respecto al método de integración se utilizó el de Runge-Kutta de segundo orden automático con un tamaño de paso 0.0078125, con el cual se tiene mayor precisión que el método de Euler y en ocasiones es más rápido que el de Runge-Kutta de cuarto orden. Los valores que se tomaron para hacer la corrida base son los correspondientes al año 2012, debido a que la mayoría de éstos se encontraron en las fuentes consultadas.

La simulación base se realizó de dos maneras: una empleando el ruido rosa para representar variaciones en las demoras en los puertos dentro de un rango plausible y, la otra, con valores promedio de demoras. Para cada nivel se muestran los dos comportamientos. Cuando no se utiliza la variabilidad en las demoras, se observa que el modelo genera un comportamiento oscilatorio amortiguado, debido a las demoras de materiales y de información presentes en su estructura. Con el ruido rosa, se consigue la variación típica observada en los modos de referencia de las principales variables de estado, logrando valores acumulados anuales similares a los reales.

##### A. ARROZ EN EL COMERCIO

El nivel Arroz en el comercio representa el arroz que se encuentra en los anaqueles, es decir, el que está en los supermercados y bodegas listo para el consumo. Además, un porcentaje de este nivel es desviado al comercio ilícito. En la Fig. 9 se observa que cuando los

puertos son presentados mediante variabilidad en las demoras, ocurren oscilaciones que son diferentes para cada período del año. La amplitud de las ondas representa la cantidad de arroz que se encuentra en un determinado momento en los anaqueles, mientras que la longitud indica los retrasos que existen para abarcar dicha cantidad. A partir de la semana 36 la amplitud de las ondas es mayor, ya que responden a los valores aleatorios correspondientes a la semilla utilizada en el ruido rosa para las demoras.



Figura 9. Comportamiento del nivel Arroz en el comercio.

Por otra parte, cuando se realiza la simulación dejando las demoras fijas, se aprecian oscilaciones representativas de un sistema de orden superior, que se estabilizan casi al final de año con 14.759 t/semana.

##### B. ARROZ EN PROCESAMIENTO Y EMPAQUETAMIENTO

El arroz que se procesa en la agroindustria proviene del arroz paddy nacional y del importado; en promedio se procesan 15.000 t/semana para satisfacer la cantidad demandada de arroz en Venezuela. Las oscilaciones que se muestran en la Fig. 10. a. se deben a la variabilidad en las demoras de importación, tanto en el traslado, como en el embarque y desembarque que se presenta en los puertos, los tiempos de despacho, entre otros; de esta manera, las ondas observadas después de la semana 29 tienen mayor amplitud, pues responden a tiempos de retraso elevados en el manejo de información que ocurre en La Guaira y en Puerto Cabello. La Fig. 10.b ilustra el comportamiento cuando se usan valores fijos en dichas demoras, observándose las oscilaciones amortiguadas típicas causadas por ellas, siendo la tendencia creciente marcada por el aumento de la población.

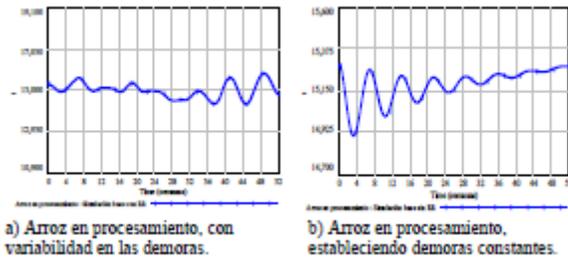


Figura 10. Comportamiento del nivel Arroz en procesamiento.

El arroz blanqueado proveniente de los puertos se empaqueta en las procesadoras nacionales; como es el 15% de la cantidad a importar, representa un valor relativamente pequeño. El valor más bajo que muestra la Fig. 11.a es de 200 t del rubro, que son empaquetadas semanalmente, y el valor más alto es de 395 t. La disparidad en las ondas que se visualizan en esta gráfica ocurre como consecuencia de la semilla usada en el ruido rosa para las demoras en los puertos.

En la Fig. 11.b el Arroz en empaquetamiento converge a 243 t empaquetadas semanalmente.

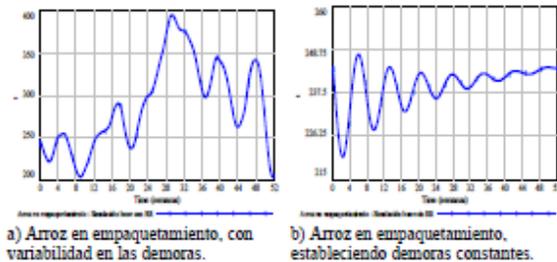


Figura 11. Comportamiento del nivel Arroz en empaquetamiento.

### C. CANTIDAD A IMPORTAR DE ARROZ

La cantidad total de arroz a importar en el país viene dada por la sumatoria de la cantidad que se necesita importar de arroz blanqueado y de arroz paddy, presentándose el comportamiento similar al de Arroz en el comercio. Las importaciones del cereal, tanto de paddy como de blanqueado alcanzaron 408.788 t en el año 2012. En la simulación base la cantidad total de arroz a importar cuando la demora es constante, es de 408.782 t y de 396.897 cuando no lo es, obteniéndose una diferencia del 2,9%.

## V. VALIDACIÓN DEL MODELO

El modelo fue validado a través de las siguientes pruebas: verificación estructural, consistencia dimensional, error de integración, condiciones extremas y análisis de sensibilidad de los parámetros. A partir del conjunto de pruebas realizadas se pudo verificar la robustez del modelo y generar confianza en el mismo.

## VI. ANÁLISIS DE ESCENARIOS

**ESCENARIO 1:** ¿Qué podría ocurrir si la producción nacional aumenta o disminuye de forma significativa? Las variaciones de la producción nacional están condicionadas por diversos factores que ocasionan su aumento o disminución e influyen en la satisfacción del consumo nacional. Si la producción en el país no es suficiente, se requiere acudir a las importaciones del rubro para cubrir la demanda nacional. Se evalúa que ocurriría si la producción aumenta hasta alcanzar el valor que se obtuvo en el 2008 de 1.360.650 t y si disminuye a 668.164 t, como sucedió en el año 2002 [1].

Al aumentar la producción nacional del año 2012 de 821.070 t hasta la cantidad de arroz paddy que hubo en el año 2008 de 1.360.650 t, las importaciones ya no se realizarían, pues habrá suficiente Arroz en el comercio como se aprecia en la Fig. 12, ya que la demanda nacional se satisface sin necesidad de adquirirlo en otros países. Sin embargo, aunque la producción presente este aumento, no se satisface por completo la cantidad de arroz deseada para el comercio, por lo tanto no se realizan exportaciones.

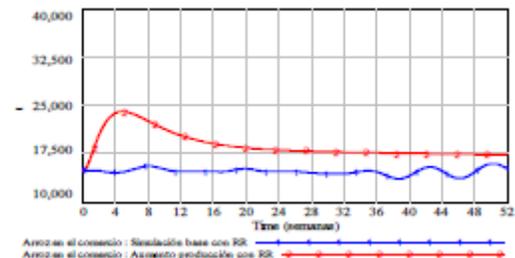


Figura 12. Comportamiento del nivel Arroz en el comercio cuando la PRODUCCIÓN NACIONAL aumenta a 1.360.650 t.

Al disminuir considerablemente la producción de arroz paddy a 668.164 t como sucedió en el año 2002, habría mayor déficit de arroz en inventario y la cantidad a importar de arroz sería mucho mayor, como se muestra en la Fig. 13. La cantidad de arroz paddy que

va a ser procesada en el nivel de Arroz en procesamiento sería 3,2% menor y Arroz en empaquetamiento aumentaría debido a que se necesita importar 27,7% más de arroz para satisfacer la demanda.

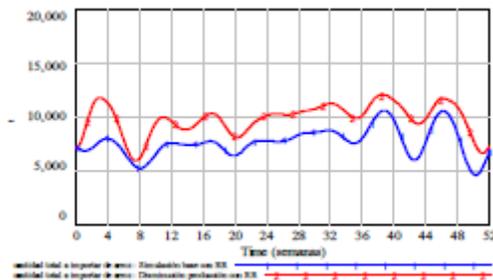


Figura 13. Comportamiento del nivel Arroz en el comercio cuando la PRODUCCIÓN NACIONAL disminuye a 668.164 t.

**ESCENARIO 2:** ¿Qué ocurriría si disminuye la producción nacional de arroz paddy y las demoras en los puertos aumentan?

La espera por muelles para iniciar las descargas de alimentos en los puertos podría ser, a corto plazo, muy prolongada y la producción puede disminuir a una cantidad similar a la del año 2002 de 668.164 t. Por tanto, ocurriría que se tiene que importar más arroz.

Cuando las demoras en los puertos aumentan una semana, es decir, que la demora de Arroz paddy Puerto Cabello pasa de 2,5 semanas a 3,5 semanas; la de Arroz blanqueado Puerto Cabello pasa de 3 a 4 semanas; la de Arroz paddy La Guaira de 3 a 4 semanas y Arroz blanqueado La Guaira de 2,5 semanas a 3,5 semanas, la cantidad total a importar de arroz aumenta en 42% cuando no hay variabilidad en las demoras y 39% cuando la hay, haciendo que el consumo nacional se cubra casi por completo. Si los retrasos en los puertos aumentan dos semanas, es decir, 4,5; 5; 5 y 4,5 correspondientes a la demora en Arroz paddy Puerto Cabello, Arroz blanqueado Puerto Cabello, Arroz paddy La Guaira y Arroz blanqueado La Guaira respectivamente, la cantidad total a importar de arroz aumenta en 66% cuando no hay ruido rosa y 70% cuando hay, haciendo que no se satisfaga un poco más del 10% del consumo nacional. Cuando los retrasos en los puertos aumentan 3 semanas, es decir, 5,5; 6; 6 y 5,5 correspondientes a la demora en Arroz paddy Puerto Cabello, Arroz blanqueado Puerto Cabello, Arroz paddy La Guaira y Arroz blanqueado La Guaira respectivamente, la cantidad total a importar de arroz aumenta en 88% cuando no hay ruido rosa y 93% cuando hay, haciendo que al consumo nacional le falte

21% para poder satisfacerse por completo. El modelo está diseñado con el propósito de importar la cantidad de arroz necesaria para satisfacer la demanda del cereal en el país, sin embargo, las demoras en el proceso de importación podrían originar cuadros de escasez del producto, que a su vez generan distorsiones en los patrones de consumo de la población, que al dar por hecha la poca disponibilidad regular del arroz, compran más de lo necesario, ocasionando un rápido agotamiento en los anaqueles.

**ESCENARIO 3:** Desde el año 2006, Estados Unidos ha sido el principal proveedor de arroz para Venezuela. ¿Qué ocurriría si se deja de importar arroz de este país?

Haciendo la suposición de que el gobierno nacional podría cesar las relaciones comerciales con Estados Unidos, el comercio exterior de arroz en Venezuela se vería afectado. La Fig. 14 ilustra cómo serían las variaciones de la cantidad de arroz que llegaría a cada puerto cuando las importaciones desde Estados Unidos son nulas. En el primer cuadrante se muestra que el arroz paddy en Puerto Cabello disminuiría con respecto a la simulación base, mientras que en los otros tres cuadrantes, las curvas de la simulación "Sin comprar a Estados Unidos" se encuentran por encima de las observadas en la Simulación Base, puesto que se tendría que importar más de otros países para cumplir con la cantidad deseada de arroz.

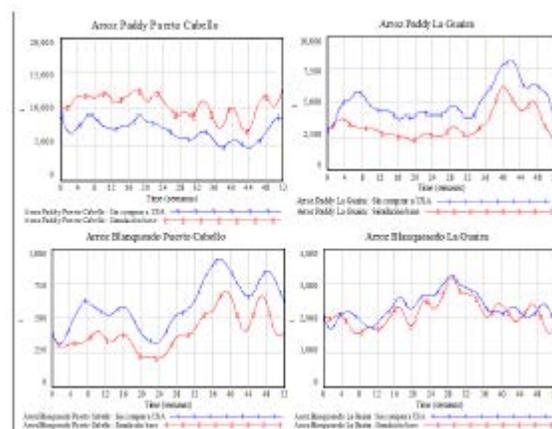


Figura 14. Comportamiento de arroz en cada puerto cuando no se compra el cereal a Estados Unidos.

Al no comprar el rubro al principal proveedor, la cantidad en el comercio se reduciría. Sin embargo, el consumo nacional se alcanzaría. Esto se debe a que el modelo, tal y como está planteado, encuentra siempre la manera de realizar las importaciones hasta conseguir la cantidad necesaria de arroz deseado. Un

ejemplo de lo descrito anteriormente es que las cantidades a importar de arroz paddy aumentan para Guyana y también para otros países. Como estas cantidades son una proporción del déficit en inventario, presentan un comportamiento similar. Esto sucede de manera análoga con el arroz blanqueado de Guyana y de otros países.

**ESCENARIO 4:** ¿Qué ocurriría si se decide importar el arroz paddy y el arroz blanco en similares proporciones? Desde el año 2008 hasta el año 2014, en Venezuela se ha observado que la relación de arroz paddy con respecto al blanqueado permanece alrededor de 85% y 15%, respectivamente. Sin embargo, conforme aumenta la población, el consumo de arroz también lo hace; por tal motivo el Estado se vería en la necesidad de importar un mayor porcentaje de arroz blanqueado listo para el consumo, para poder cumplir con las necesidades de la población de forma inmediata. Este escenario plantea que la cantidad a importar de cada tipo de arroz sería de 50% obteniéndose así que el arroz en el comercio se mantenga similar a la simulación base, en tal sentido el consumo nacional también se satisface.

Adicionalmente, el nivel Arroz en procesamiento disminuye cuando la fracción de paddy a importar es de 50%, pues hay menos producto que procesar. Así mismo, aumenta el nivel Arroz en empaquetamiento, ya que entra al país mayor cantidad de arroz blanco, por lo tanto, es necesario empaquetar más, para luego ser distribuido. Su comportamiento se observa en la Fig. 15.

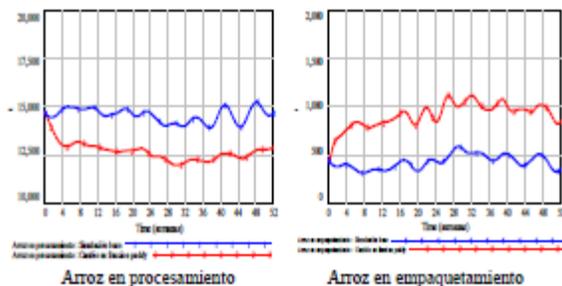


Figura 15. Comportamiento de los niveles Arroz en procesamiento y Arroz en empaquetamiento.

Si ocurriera este escenario donde las cantidades a importar fueran 50% de paddy y 50% de blanco, entonces la cantidad total a importar disminuiría de 408.788 t a 317.471 t, satisfaciendo la demanda nacional. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que

si se importa mucho arroz, los productores dentro del país se verían afectados, por ende podría disminuir la producción nacional del cereal. Asimismo, el gasto que se realizaría con la compra de arroz blanco sería mucho mayor para el Estado.

VII. NOTAS FINALES

En este trabajo se ha presentado un modelo de simulación del comercio exterior de arroz en Venezuela, tomando en cuenta la producción de arroz paddy y la satisfacción del consumo nacional. La revisión bibliográfica realizada y las visitas a distintas instituciones (Ministerio del Poder Popular para la Alimentación, Ministerio de Agricultura y Tierras, Ministerio del Comercio Exterior y Centro de Investigaciones Agroalimentarias), permitieron elaborar la descripción del sistema real, que sirvió como base para la construcción de la estructura del modelo y la estimación de los parámetros que lo conforman.

En el primer escenario se muestra que si la producción nacional de arroz varía en 65% por arriba del valor del año 2012 o en 18% por debajo de dicho valor, influye directamente en la satisfacción o no de la cantidad demandada de arroz, esta incluye la ingesta nacional y el comercio ilícito.

Para poder realizar exportaciones en un futuro, debe haber casi el doble de la producción nacional que se tuvo para el año 2012. Antes del año 2006 con la producción nacional se cubría el consumo nacional y quedaba arroz para exportar.

El comercio ilícito de arroz causa alteraciones significativas en el inventario con el que cuenta el país. Por lo tanto, es importante que el Estado tome mejores medidas de control para disminuir el contrabando de extracción, sobre todo en la frontera con Colombia, para así poder garantizar la ingesta del rubro en todo el territorio nacional.

El modelo está diseñado para que el consumo nacional se satisfaga con las importaciones, es decir, si la producción de paddy es baja, entonces se calcula la cantidad necesaria de arroz a importar para satisfacer la ingesta nacional y parte del comercio ilícito. Sin embargo, cuando se plantean demoras de más de cuatro semanas en los puertos, no se logra satisfacer el consumo nacional, debido a que hay retrasos en la información y, además, como la mayor cantidad de

arroz que se importa es paddy, no puede ser consumido de inmediato, ya que requiere previamente de un tiempo para su procesamiento y distribución hacia los anaqueles.

El análisis permitió constatar que al importar arroz paddy y blanqueado en similares proporciones, el consumo se satisface más rápido que al importar las proporciones de 85 % paddy y 15 % blanqueado. Sin embargo, esto implicaría mayores gastos al Estado debido a que es más costoso importar arroz listo para el consumo que arroz paddy.

Por otra parte, las procesadoras nacionales se verían afectadas, al verse obligadas a competir con los precios en el mercado del arroz blanco importado, ya que este es subsidiado al consumidor final. Es necesario incentivar a los productores primarios del rubro a que haya más producción y hacer que los precios estipulados al consumidor final estén acordes con los costos de manufactura y distribución, de esta manera los productores no se verían perjudicados.

Otro escenario evaluado sugiere que al haber un aumento de 2,5 veces el consumo per cápita nacional, equivalente al promedio del consumo per cápita mundial, no se lograría satisfacer la demanda nacional a pesar de un gran incremento de las importaciones del rubro. Esto se debe a que existen limitaciones de capacidades para ensilar y despachar en los puertos. Además, las demoras en la información que le llega al Estado, trae como consecuencia la importación de cantidades insuficientes del rubro, ya que no se consideran apropiadamente los tiempos de procesamiento, empaquetamiento, distribución y despacho del cereal.

Dada la importancia del arroz como rubro de consumo básico y a fin de salvaguardar las estructuras productivas del cereal en el país, se hace urgente tomar medidas que potencien la producción nacional, disminuyan el contrabando de extracción y garanticen el acceso efectivo a la población venezolana, ya que es difícil sustituirlo y es más económico que otros productos (verduras y tubérculos). La situación actual evidencia múltiples distorsiones que ponen en serio riesgo toda la cadena de producción y consumo. En caso de haber escasez, ya sea por baja producción o por el cese de las importaciones, se generaría un descontento social, debido a lo arraigado del arroz como producto básico en la alimentación del venezolano.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico Tecnológico y de las Artes (CDCHTA) de la Universidad de Los Andes y al Observatorio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (ONCTI) del Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Innovación, por haber financiado parcialmente este trabajo bajo los proyectos I-1433-15-02-F y PEii N° 2011001338, respectivamente.

## REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística (INE). Disponible en <http://www.ine.gov.ve>. Fecha de consulta: 25 Marzo 2015.
- [2] El Universal (2012), Disponible en <http://www.eluniversal.com/economia/120813/importaciones-de-arroz-hasta-mayo-superan-en-75-a-las-detodo-2011>. Fecha de consulta: 8 Marzo de 2014
- [3] El Nacional (2013). Notiitarde. Disponible en <http://www.notiitarde.com/Economia/Fevearroz-Se-debe-importar-44-de-arroz-para-atender-elconsumo-interno/2013/10/30/277253>. Fecha de consulta: 8 Febrero 2015
- [4] J. Forrester, Industrial Dynamics, MIT Press, Boston: EEUU, 1961.
- [5] J. Sterman, Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, primera edición, McGraw-Hill, Boston: EEUU, 2000.
- [6] Vensim (2014). Ventana systems, inc. Disponible en <http://www.vensim.com/>. Fecha de consulta: 30 Junio 2014.
- [7] Enciclopedia y Biblioteca Virtual de las Ciencias Sociales, Económicas y Jurídicas (2015). Disponible en <http://www.eumed.net/courseon/dic/incoterm.htm>. Fecha de consulta: 22 Marzo 2015.
- [8] FAOSTAT. (2015)., de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/P/PP/S>. Fecha de consulta: 26 Enero 2015.
- [9] N. Chlids, (2015). USD United States Department of Agriculture. Disponible en: Economic Research Service - Rice Outlook. Disponible en <http://www.ers.usda.gov/media/1736964/rcs-15a.pdf>. Fecha de consulta: 21 Enero 2015.
- [10] AIREA. (2015). All India Rice Exporters' Association. Disponible en <http://www.airea.net/page/55/statistical-data/world-rice-trade>. Fecha de consulta: 4 Abril 2015.

## AUTORES



**VICENTE RAMÍREZ** es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida-Venezuela; MSc in Economics de la London School of Economics, Londres-Inglaterra; PhD. In Economics de la Università della Svizzera italiana, Lugano-Suiza. Profesor Titular del Departamento de Investigación de Operaciones de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la ULA y profesor del Postgrado en Modelado y Simulación de Sistemas y miembro asociado del Centro de Simulación y Modelos (CESIMO) de la ULA.



**LUISANA GARCÍA** es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida-Venezuela.



**IXHEL MEJÍAS** es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida-Venezuela. Estudiante de la Maestría en Modelado y Simulación de Sistemas del Centro de Simulación y Modelos (CESIMO) de la ULA



## 56. SERVICE QUALITY AND FINANCIAL SUSTAINABILITY OF A MASS TRANSIT SYSTEM

ISABEL POLANÍA BALCÁZAR, MARCELA GONZÁLEZ GONZÁLEZ AND FERNANDO A. ARENAS

Universidad Icesi – Cali - Colombia  
isapolania15@hotmail.com, marcelita\_0607@hotmail.com, faarenas@icesi.edu.co

### ABSTRACT

The Western Integrated Mass Transit System (MIO) has faced over time various financial crises due to multiple factors. System operators have turned to the reduction of operating expenses (maintenance budget, fleet size) as shortterm solutions. The following article seeks to describe, through simulations based on a system dynamics model, the operational and financial performance of this mode of transport under three scenarios: a baseline scenario that serves as a reference, a second scenario where the operating costs are reduced through a gradual reduction in the maintenance budget and a third scenario where operating expenses are reduced by taking out from the system a significant number of buses. The results show that by taking such decisions, the reduction of operating expenses is evident and significant but, however, an unintended consequence could be a long-term negative impact on the operating cash flow that could deepens the crisis.<sup>1</sup>

**KEYWORDS:** systems dynamics, modeling, simulation, mass transit system.

### I. INTRODUCCIÓN

Para el buen funcionamiento de un sistema de transporte público se necesita llegar a un punto de sostenibilidad donde los ingresos sean mayores o iguales a los egresos. Específicamente, en Santiago de Cali, el sistema de transporte Masivo Integrado de Occidente (MIO) ha tenido problemas financieros desde años atrás; en sus inicios el MIO fue acogido por los usuarios como una fuente de buen servicio, sin embargo al pasar el tiempo se hizo cada vez más latente el descontento por parte de los caleños ya que aumentó el tiempo de espera y la cantidad de pasajeros por vehículo. Sus síntomas empezaron a ser más visibles a partir del año 2012, tal como lo evidencia un artículo publicado por el periódico El País el 26 de junio de ese año donde se expone que “pese a los beneficios que el sistema de transporte ha traído para Cali, el proyecto afronta un agudo desfase financiero que pone en peligro su operación.” [1], este riesgo se ha convertido en realidad a lo largo de los años alcanzando puntos críticos como los vividos en el 2013 cuando se suspendieron algunas rutas debido a la falta de efectivo para suministrar combustible a los vehículos, afectando

a los usuarios y causando descontento en los mismos [2].

A medida que esta situación empeoraba, las personas empezaron a preferir medios de transporte sustitutos, generando menos ingresos para el MIO con pérdidas de aproximadamente \$3.360 millones de pesos [3], disminución en la reinversión y en términos generales un círculo vicioso que podría llegar a acabar con dicho sistema. En junio del año 2015 las empresas operadoras del MIO declararon: “vamos a tener deficiencias en el servicio por cuenta de la falta de recursos para pagar repuestos y mantenimiento de los vehículos” por lo tanto “dejarán de rodar unos 300 buses, lo que afectará la prestación del servicio en toda la ciudad” [4].

En este trabajo se plantea un modelo de simulación que tiene en cuenta diversos factores de atractividad del MIO (aquellos factores que hacen que un usuario prefiera utilizar este tipo de transporte [5]) y cómo estos pueden ser afectados por políticas de reducción de gastos que involucran la disminución del presupuesto de mantenimiento para los vehículos o el retiro de buses del servicio.



El ciclo B1 muestra que al disminuir el flujo de caja operativo, aumenta la brecha y a su vez la presión para reducir los gastos, para resolver dicho problema de liquidez se reduce la inversión en mantenimiento, con lo cual disminuyen los gastos operativos, aliviando así el flujo de caja.

Con esta decisión de disminuir la inversión en mantenimiento se reduce la capacidad de mantenimiento, por lo tanto habrá menos buses disponibles para el servicio.

Dicha situación tiene dos efectos: por un lado se disminuye el número de recorridos totales que se realizarán y con esto el número de usuarios por recorrido aumentará afectando la comodidad de los pasajeros y la atraktividad del sistema MIO; después de un tiempo esto hará que haya una pérdida de usuarios. Al disminuir los usuarios que utilizan el sistema se reducen los ingresos operativos cerrando el ciclo vicioso de liquidez (R1). Por otro lado, al tener menos buses

disponibles se genera un menor número de gastos operativos haciendo que el flujo de caja operativo aumente en el corto plazo. (B2).

Otra parte del diagrama muestra cómo los buses disponibles después de cumplir cierto tiempo promedio en servicio deben pasar a mantenimiento; una vez finalizan este proceso vuelven a estar a disposición de los usuarios para el servicio.

## II. ESTRUCTURA DEL MODELO

El modelo se encuentra dividido en tres subsistemas (financiero, usuarios y flota) que muestran cómo se interrelacionan las diferentes variables que lo componen para identificar las posibles consecuencias generadas a corto y largo plazo cuando se toman decisiones como la disminución de la inversión en mantenimiento y el retiro simultáneo de una cantidad significativa de buses (ver Fig.2)

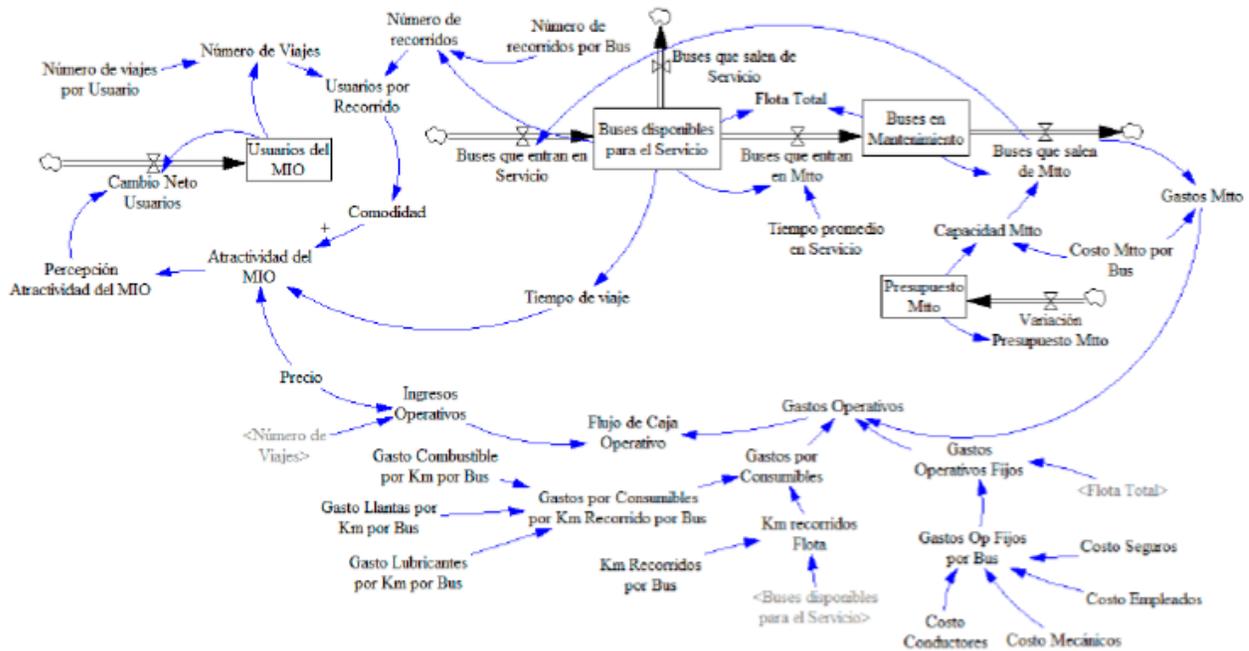


Figura 2. Modelo de simulación.

Subsistema Financiero: se compone de los ingresos y gastos operativos. Estos últimos incluyen los gastos de mantenimiento, gastos operativos fijos y gastos por consumibles. La variable de nivel Presupuesto mantenimiento se alimenta del flujo de Variación presupuesto mantenimiento que cambia conforme al crecimiento del flujo de caja operativo.

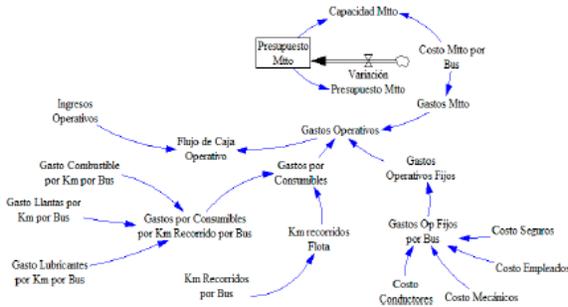


Figura 3. Diagrama subsistema Financiero.

Este subsistema depende de Usuarios ya que en ellos recae la principal fuente de ingresos del sistema por lo que si la cantidad de usuarios disminuye los ingresos también, afectando la inversión en mantenimiento y el subsistema Flota. Este último depende del Financiero debido a que cuando hay un buen flujo de caja operativo se puede realizar más inversión en el mantenimiento de los buses y tener mayor disponibilidad para el servicio mejorando la atractividad del sistema (ver Fig. 3).

Subsistema Usuarios: se compone de los factores de atractividad que tienen mayor importancia para los usuarios del sistema (precio, comodidad y tiempo de viaje). La variable de flujo Cambio Neto Usuarios es la entrada de Usuarios MIO y está ligada a la percepción de atractividad que ellos tengan del sistema. Esto depende principalmente del subsistema Flota ya que cuando hay menos buses disponibles para servicio los usuarios van a experimentar demoras e incomodidad. También interactúa con el subsistema Financiero a través de los usuarios que son los que generan los ingresos operativos del sistema (ver Fig.4).

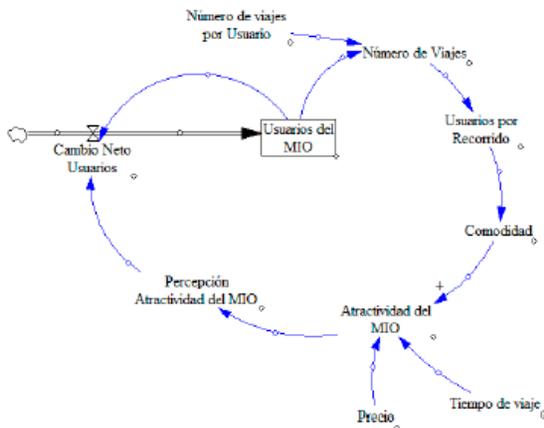


Figura 4. Diagrama subsistema Usuarios.

Subsistema Flota: Este subsistema está compuesto por dos variables de nivel, la primera (Buses disponibles para el servicio) se alimenta de los buses que entran en servicio y se compone de dos salidas, los buses que

salen del servicio y los que entran en mantenimiento; este último flujo es la entrada de los Buses en mantenimiento. Dicho subsistema es de especial importancia ya que influye en la atractividad del usuario sobre el sistema de transporte. De igual manera este subsistema se ve influenciado por Financiero puesto que de él provienen los recursos para realizar la inversión en mantenimiento (ver Fig. 5).

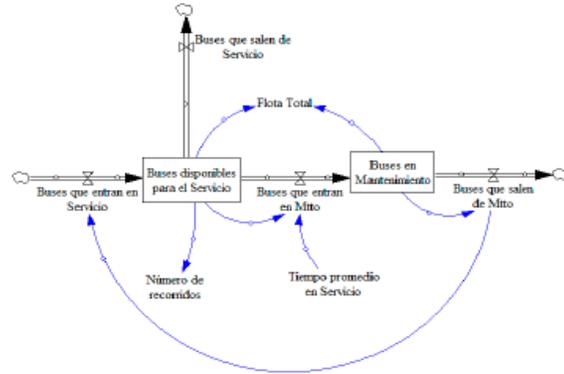


Figura 5. Diagrama subsistema Flota.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizaron tres simulaciones: una "base" donde se observa el comportamiento del sistema sin ningún tipo de alteración de los parámetros investigados, otra llamada "based" que describe la decisión de disminuir el presupuesto de mantenimiento en un 1% mensual cuando el crecimiento del flujo de caja operativo es menor, a su vez, al 1%. La tercera simulación llamada "ssb1" refleja la salida simultánea de 300 buses del sistema.

Cuando se toma la decisión de reducir la inversión en mantenimiento en el mes 18, debido a que el crecimiento del flujo de caja operativo es inferior al 1% (simulación "based"), los gastos operativos disminuyen inmediatamente y de manera progresiva (ver Fig. 6), por otra parte los ingresos operativos se estancan a partir del mes 36 y disminuyen exponencialmente a partir del mes 48 (ver Fig. 7), esto se debe a que hay mayor número de buses en espera de mantenimiento, es decir, una reducción en los buses disponibles para el servicio afectando negativamente la atractividad como se puede observar en la Fig. 8 y por ende disminuyendo los usuarios del MIO (ver Fig. 9); sin embargo después de un tiempo la atractividad aumenta en menor proporción y se estabiliza debido a esta misma disminución de usuarios. Esta decisión, a pesar de disminuir los gastos operativos en el corto plazo, no mejora sustancialmente

el flujo de caja operativo y, por el contrario, lo deteriora significativamente en el largo plazo (ver Fig. 10).

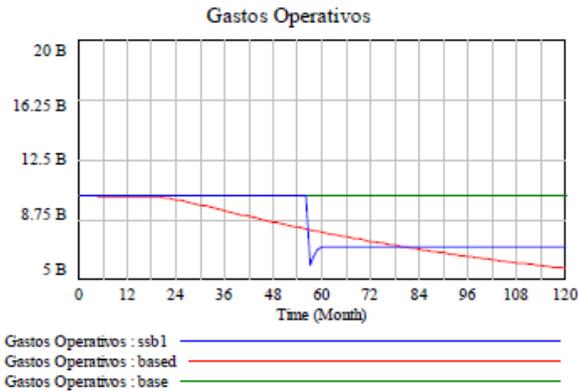


Figura 6. Gastos Operativos.

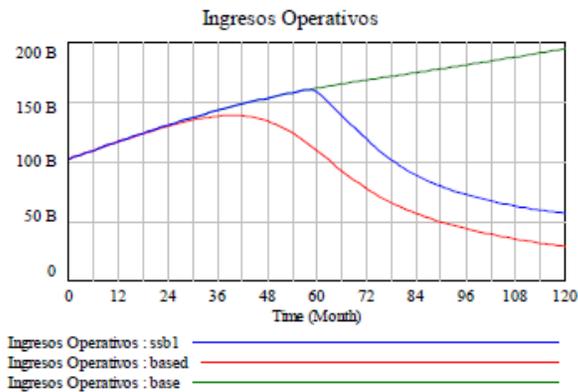


Figura 7. Ingresos Operativos.

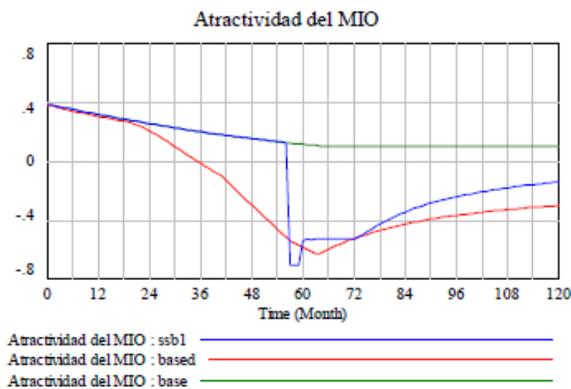


Figura 8. Atractividad del MIO.

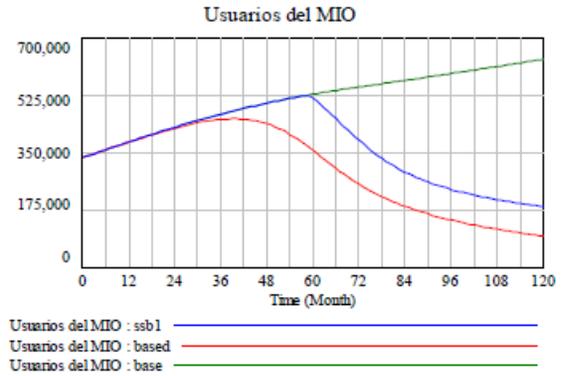


Figura 9. Usuarios del MIO.

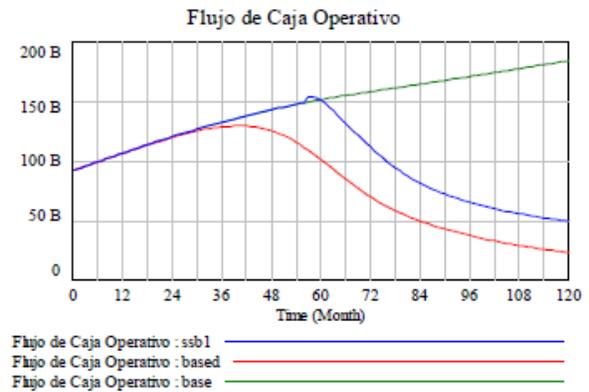


Figura 10. Flujo de Caja Operativo

Por otro lado, la decisión de sacar 300 buses de la flota [4] en el mes 56, hace que los gastos operativos tengan una caída importante e inmediata (ver Fig. 6); en cuanto a los ingresos, cuatro meses después de la salida de los buses empiezan a disminuir significativamente (ver Fig. 7). Como consecuencia de la falta de buses, el MIO pierde atractividad (ver Fig. 8) y por ende usuarios como lo muestra la Fig. 9; después de un tiempo la atractividad empieza a recuperarse (debido a la disminución en los usuarios) pero no vuelve a su punto inicial. Finalmente, con la salida de los buses el flujo de caja operativo tiene un pequeño aumento en el corto plazo, con una posterior y significativa (exponencial) reducción (ver Fig. 10) debido a la caída en el número de usuarios y por ende en los ingresos operativos.

#### IV. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta, a través de un modelo basado en dinámica de sistemas, posibles consecuencias operativas y financieras a largo plazo de medidas de corto plazo adoptadas o sugeridas por los operadores del MIO con el fin de mejorar su flujo de caja operativo. Se evaluaron dos tipos de medidas diferentes: la reducción gradual del presupuesto de mantenimiento

cuando se considera que hay estancamiento en el crecimiento del flujo de caja operativo, y el retiro del servicio de un número significativo de buses.

La aplicación de ambas medidas genera una reducción evidente en los gastos operativos, gradual en el caso de la reducción de presupuesto e inmediata en el caso de retiro de buses; ambas medidas, sin embargo, no mejoran significativamente el flujo de caja operativo en el largo plazo y, por el contrario, ocasionan un decrecimiento exponencial del mismo.

Si bien este es un trabajo exploratorio, los parámetros utilizados en el modelo se ajustaron, dentro de lo posible y de acuerdo con la información disponible, a cifras reales tomadas de fuentes primarias y secundarias. Una segunda parte del trabajo incluye una investigación en campo, también exploratoria, que permita ajustar los parámetros relacionados con el peso relativo que tienen el precio, el tiempo de viaje y la comodidad, sobre la atractividad del MIO como medio de transporte para sus usuarios.

## V. REFERENCIAS

- [1] EIPaís, «Crisis financiera de transportadores del MÍO prende las alarmas en el sistema,» 26 junio 2012. [En línea]. Available: <http://www.elpais.com.co/elpais/cal/noticias/crisis-financiera-transportadores-del-mio-prende-alarmas-en-sistema-transporte>.
- [2] EIPaís, «Preocupación en Cali por crisis económica de los operadores del MÍO,» 31 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.elpais.com.co/elpais/cal/noticias/preocupacion-cal-por-crisis-economica-operadores-mio>.
- [3] DANE, «Comunicado de prensa,» 2014.
- [4] EIPaís, «Por crisis financiera dejarán de rodar 300 buses del MÍO,» Periódico El País, 18 junio 2015.
- [5] J. S. Orozco y F. A. Arenas, «Aproximación al desarrollo de un sistema de transporte masivo a través de la dinámica de sistemas,» Revista S&T, pp. 91-106, 2013.
- [6] L. Wright, «Transporte masivo Rápido en Autobuses TMRB,» de Transporte sostenible: Texto de referencia para Formuladores de Políticas Públicas en Ciudades en Desarrollo, Eschborn, GTZ, 2002.
- [7] J. Sterman, Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world, Massachusetts: McGraw-Hill, 2000.

## AUTORES



**FERNANDO A. ARENAS** is professor of System Dynamics at Universidad Icesi (Cali-Colombia). He received a MSc degree in Environmental Engineering from Universidad Nacional de Colombia, in 1990, and is a PhD student in Business Administration at Universidad de Valencia (Spain). His current research interest is the study of managerial decision making through simulation and micro-worlds.



**ISABEL POLANÍA** is a student of industrial engineering at Universidad Icesi. She is part of the group of researchers on the system dynamics field.



**MARCELA GONZÁLEZ GONZÁLEZ** is a student of industrial engineering at Universidad Icesi. She is part of the group of researchers on the system dynamics field.

## 57. MODELING ENVIRONMENTAL ISSUES IN THE SUPPLY CHAIN OF ADOBE

KATERINE ROJAS, TATIANA RODRIGUEZ AND JOHAN MANUEL REDONDO

ECCI - Colombia

kattiyamud@gmail.com, ttati\_22@hotmail.com, galileo@ima.usergioarboleda.edu.co

### ABSTRACT

This paper presents the first approach to the modelling of the environmental aspects of the adobe's supply chain. This is a material often used at sustainable constructions. The considered environmental aspects are associated to the emissions, sewage and waste disposal that are being completed through the whole supply chain. By integrating environmental management in the model the feedback for water resource and waste is established, generating non-linear behavior.

**KEYWORDS:** environmental issues, dynamic systems, adobe, supply chain.

### I. INTRODUCCION

En la actualidad, la fabricación de materiales de construcción, ha generado una serie de aspectos ambientales desde la extracción de materia prima, hasta la culminación del producto. Las etapas de dicho proceso pueden ser objeto de estudio a través de la cadena de suministro, debido a que abarca todas las actividades de planificación y gestión de la obtención, adquisición y transformación del producto (Meindl & Chopra, 2013).

Debido a que dentro de la cadena de suministro se determinan los aspectos ambientales que pueden generarse en las etapas del proceso, se hace necesario la aplicación de Gestión de Cadena de Suministro Verde o Green Supply Chain Management GSCM en la cual se incluye un pensamiento ecológico en el diseño, selección, producción, distribución y entrega del producto, así como el aprovisionamiento de materias primas (Srivastava, 2007).

El adobe es uno de los tantos materiales usados en la construcción, pero se diferencia de los otros por ser ecológico, porque presenta bajo costo de fabricación, gran disponibilidad, fácil integración al ecosistema local, reciclaje de los excedentes al hacer la construcción, además de poseer propiedades mecánicas óptimas para la construcción (GamaCastro et al., 2012), razón por la cual lo hacen una opción más rentable, ya que de

acuerdo al Índice de Costos de Construcción de Viviendas ICCV se destaca un mayor crecimiento para materiales de cimentación y estructuras, más específicamente el concreto con 4,8%, el precio del concreto crece anualmente en un 8%, la participación del concreto en la cimentación y estructura de una vivienda es de 62% (Forero & Preciado, 2011).

El proceso de elaboración del adobe, comienza por la extracción de arcilla y arena, donde por lo general se realiza en una franja o foso abierto en la tierra, la cual consiste en dos operaciones sucesivas (Serrada, 2000) que son: desbrozo y obtención.

Los materiales se remueven del estrato superficial del terreno en donde se encuentra principalmente una capa de humus donde las plantas introducen sus raíces cerca de la capa de arena fina y gruesa. Se remueven todos los estratos del suelo hasta llegar al estrato arcilloso utilizable, se amplía la excavación dejando el pozo a cielo abierto donde se realizan catas y rebajes en el terreno. Por medio de un buldócer se saca la arcilla y es dispuesta en una volqueta para su traslado, luego ésta es transportada hacia su destino principal, donde se realiza un proceso de triturado, la mayoría de las veces con una máquina extrusora, que disminuye el tamaño del grano de la arcilla.

La arcilla es mezclada manualmente con arena y paja (debe ser paja de trigo para mayor consistencia), y una

cuarta parte de agua hasta que se obtenga un "barro" homogéneo, éste debe estar compuesto por máximo 20% de arcilla ya que si se usa más, el adobe puede agrietarse y deshacerse, además de un 60% de arena (Morales, Torres, Rengifo & Irala, 1993). Para mejorar la calidad de porosidad se puede agregar cal y así evitar filtraciones o invasión. Es importante dejar en reposo la mezcla durante uno o dos días para garantizar su compactación y durabilidad.

Luego se pasa a la fase de moldeo, donde la mezcla es vertida en unos módulos de madera ya previstos los cuales, tienen las medidas y características establecidas por el personal y los requerimientos de la actividad o proyecto a realizar. Allí se dejan en la primera fase de secado por aproximadamente un día y luego es retirado del molde. Como último paso del proceso de elaboración, se llevan a un terreno adaptado especialmente donde se dejan por siete días para su secado completo. Es importante que este lugar cumpla con requisitos mínimos para garantizar la compactación del ladrillo, por ejemplo el lugar debe estar aislado de la humedad del suelo y del ambiente debido a que el adobe es higrófilo, pues tiende a absorber la humedad del ambiente y esto hace que pierda resistencia. (Hernández, 2010) También tiene la propiedad de absorber energía solar durante el día la cual es transferida como calor al interior de la vivienda en las noches aunque en esto hay que tener cuidado con la entrada directa del sol, ya que no puede estar expuesto directamente si no en sombra para evitar un proceso similar a la erosión. De igual forma se puede indicar que para evitar riesgo de infiltración de agua y entrada directa del sol, donde se dejan por siete días para su secado completo. (Misereor, 2000).

## II. METODOLOGÍA

Como metodología se aplica la dinámica de sistemas que es una técnica de modelamiento sistémico. Según Gordillo & Aracil (2007) el proceso de modelado con dinámica de sistemas tiene un carácter constructivo en el que después de analizar el sistema y mediante un proceso de reelaboraciones, se llega a un sistema dinámico que permite visualizar su comportamiento.

Forrester (1972) fue el primero en formalizar la dinámica de sistemas en problemas de administración de la cadena de suministro, centrándose en el carácter de realimentación de la información en un sistema industrial. Su obra consistía en abordar un problema específico que presenta una compañía de suministro de

productos electrónicos, con pocos clientes y pedidos estables, presentaba oscilaciones en su línea de producción, del análisis de este problema se concluyó que estas oscilaciones se debían a las estructuras de realimentación y a la presencia de retrasos en la transferencia de la información, naciendo de esta manera las bases de la metodología de la dinámica de sistemas (Forrester, 1999).

Con el fin de demostrar el impacto de la cadena de abastecimiento, Sterman (1989) construye el Juego de la Cerveza, para el aprendizaje de comportamientos como la oscilación, amplificación de las órdenes y retrasos en la cadena (retrasos de materiales e información) que ocurren al momento de ordenar y recibir el producto.

Los modelos de simulación son utilizados para la evaluación de los eslabones de la cadena de suministro debido a su capacidad para representar el problema de manera realista y para capturar una amplia gama de factores. (Sarimveis, Patrinos, Tarantilis, & Kiranoudis, 2008)

A continuación en la Fig.1, se aprecia la cadena de suministro del adobe propuesta para el desarrollo del modelo, observándose que en cada una de las etapas del proceso productivo se presentan aspectos ambientales, demostrando así que no es un proceso completamente limpio.

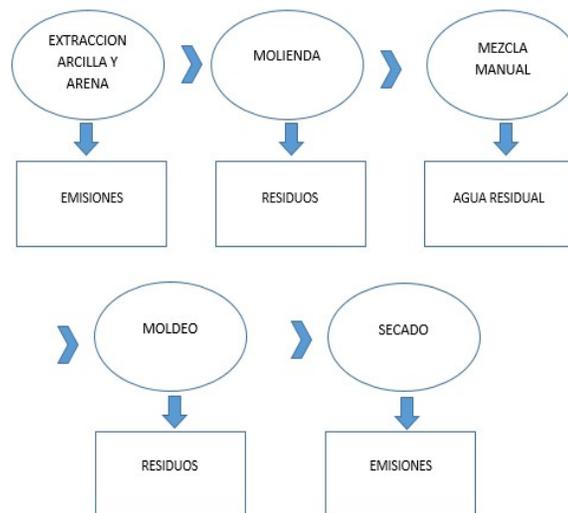


Figura 1. Aspectos ambientales de la cadena de suministro del adobe.

El modelo que se presenta en este documento es una primera aproximación al modelamiento de los aspectos ambientales de la cadena de suministro del adobe, en el que se ha considerado que los niveles de contaminación de la cadena tienen incrementos no lineales con respecto a los aspectos ambientales exceptuando las emisiones de gases.

En el estado de esta investigación, que orienta a una representación sostenible de la cadena de suministro, nos hemos dado cuenta que los aspectos de realimentación relevantes no tienen que ver con la cadena en sí misma, sino con la incorporación de la gestión ambiental, encontrando una estructura de realimentación negativa cuando se hace la gestión adecuada del recurso agua y una estructura de realimentación positiva para la disposición de residuos en el proceso (Ver Fig. 2-3).

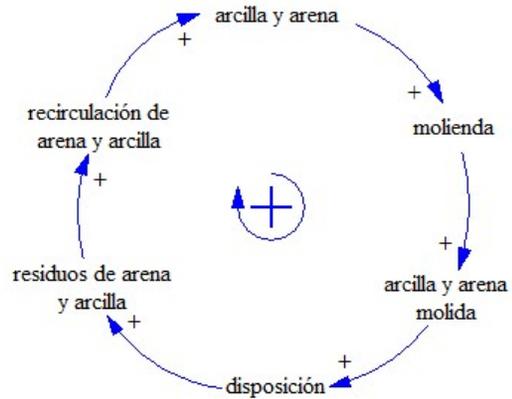


Figura 3. Diagrama causal residuos de arena y arcilla

El diagrama de niveles y flujos se construyó a partir de cada una de las etapas del proceso de elaboración del adobe vinculadas con sus respectivos aspectos ambientales, para este se tuvo en cuenta el tiempo que tarda cada fase. Tales aspectos se tomaron como variables de estado junto a las etapas de la cadena de suministro.



Figura 2. Diagrama causal recurso agua

Para los residuos de arena y arcilla se estableció como gestión ambiental la recirculación de dicho material al proceso de molienda, así mismo para el vertimiento de agua residual se implementa un sistema de tratamiento primario basado en el tiempo de sedimentación de la arcilla.

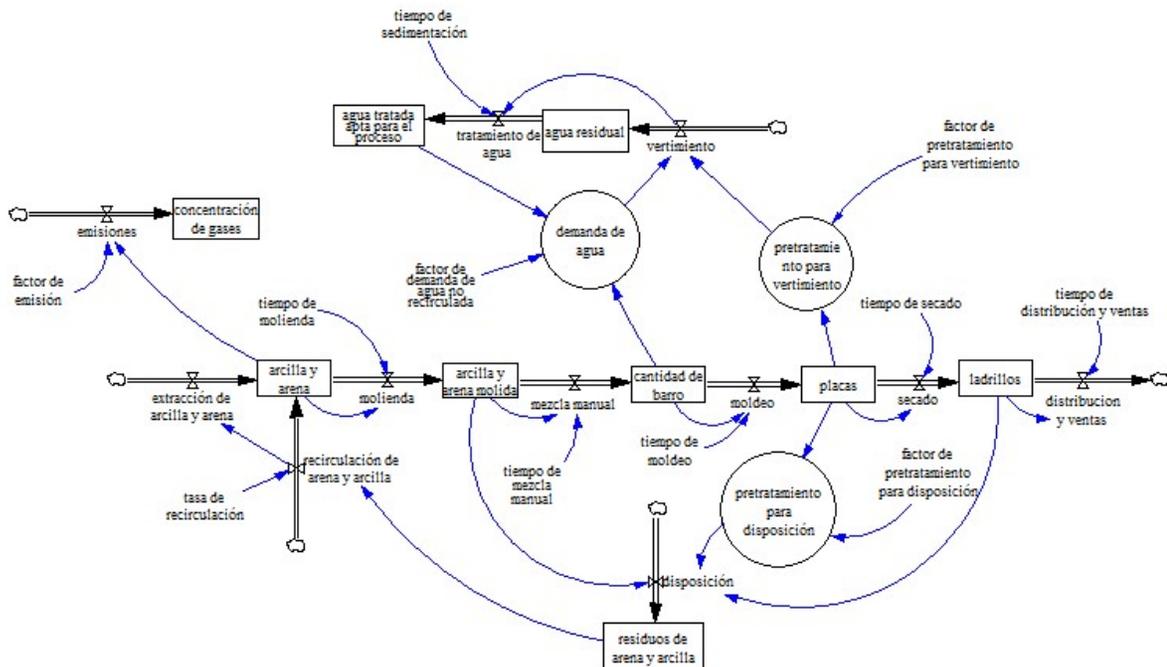


Figura 4. Diagrama de niveles y flujos Cadena de suministro del Adobe

A continuación se presentan las ecuaciones de tales variables:

- Agua residual:  

$$\frac{dAr}{dt} = \text{IF THEN ELSE}(\text{agua residual} > 0, \text{vertimiento} - \text{tratamiento de agua}, 0) \quad (1)$$

- Concentración de gases:  

$$\frac{dCg}{dt} = \text{emisiones} \quad (2)$$

- Residuos de arena y arcilla:  

$$\frac{dR}{dt} = \text{disposición} \quad (3)$$

- Demanda de agua:  

$$\frac{dDa}{dt} = (\text{factor demanda de agua no recirculada} * \text{cantidad de barro}) - \text{agua tratada apta para el proceso} \quad (4)$$

- Pretratamiento para vertimiento:  

$$\frac{dPv}{dt} = \text{factor pretratamiento para vertimiento} * \text{placas} \quad (5)$$

- Pretratamiento para disposición:  

$$\frac{dPd}{dt} = \text{placas} * \text{factor pretratamiento disposición} \quad (6)$$

- Arcilla y arena molida:  

$$\frac{dm}{dt} = \text{molienda} - \text{mezcla manual} \quad (7)$$

- Cantidad de barro:  

$$\frac{dcb}{dt} = \text{mezcla manual} - \text{moldeo} \quad (8)$$

- Placas:  

$$\frac{dpl}{dt} = \text{moldeo} - \text{secado} \quad (9)$$

- Ladrillos:  

$$\frac{dl}{dt} = \text{secado} - \text{distribucion y ventas} \quad (10)$$

En la siguiente tabla se presentan los valores manejados en el modelo matemático:

TABLA 1. VALORES CONSIDERADOS EN EL MODELO

Arcilla y arena (valor inicial)	0.232 ton
Factor de dispersión de material particulado	0.00801 ton

Factor de emisión	0.00012 ton
Factor de vertimiento de agua residual	0.0145 m <sup>3</sup>
Factor de disposición de residuos	0.00928 ton
Tiempo de sedimentación arcilla	1 día
Tasa de recirculación agua	0.05 m <sup>3</sup>
Factor de pretratamiento de disposición	0.002 ton
Factor de pretratamiento de vertimiento	0.05 m <sup>3</sup>
Factor de demanda de agua no recirculada	0.1 m <sup>3</sup>

Fuente: (Landau, 2006, Misereor, 2000, Osorio & Echeverría, 2014, Red Interinstitucional de Tecnologías Limpias, 2004).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la simulación del modelo se utilizó el software Vensim Ple, en el cual se estableció un periodo de 30 días, debido a que la producción del adobe es diaria, así mismo se emplea el método de integración Runge Kutta 4 con tamaño de paso de 0,0625.

Las variables de estado consideradas como aspectos ambientales, en este caso concentración de gases, vertimiento de aguas residuales y residuos de arcilla, se encuentran ligadas con algunas de las etapas de la cadena de suministro. En la Fig. 4 (izquierda), se aprecia que las variables de estado presentan oscilaciones debido a los retardos de generados por el tiempo que demora cada una de las etapas de proceso (molienda, mezcla manual, moldeo, secado, distribución y ventas), es importante resaltar que debido a los factores de tiempo mencionados anteriormente se observa un comportamiento de desfase entre las variables. Cabe resaltar que tanto la variable de arcilla y arena molida como la cantidad de barro después del día 15 presentan una conducta constante ya que en este periodo de tiempo, la importancia del proceso se basa en las fases siguientes.

Al lado derecho de la Fig. 4, se puede contemplar que al aumentar el tiempo de las etapas, se producen más oscilaciones y por ende más retardos, el proceso puede llegar a un punto en el que se deja de producir, se

deduce que es necesario optimizar los tiempos de respuesta en cada etapa de la cadena.

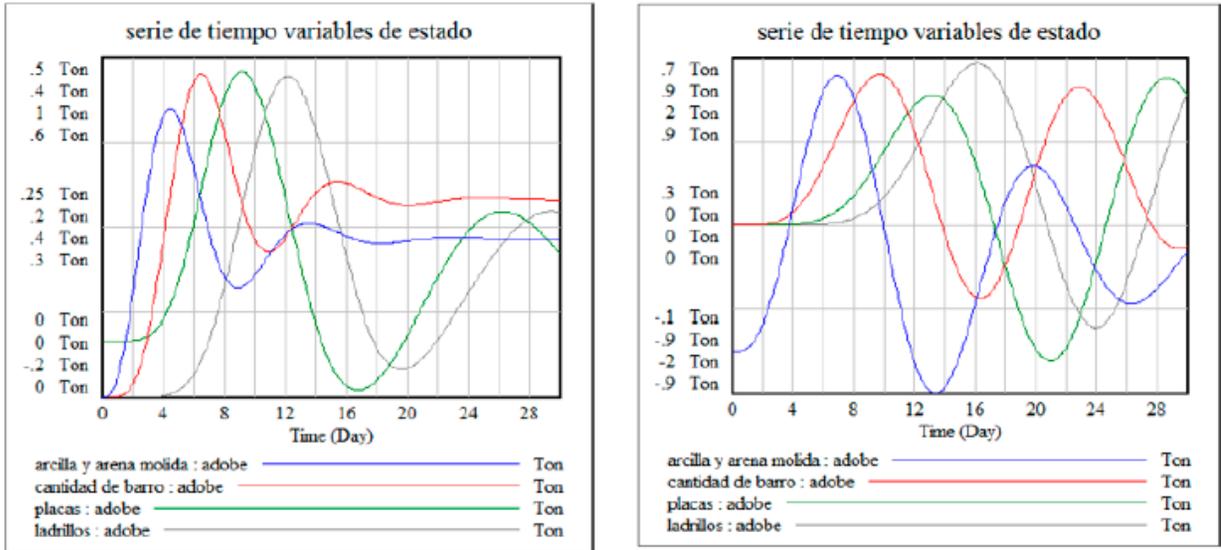


Figura 5. Simulación etapas de la cadena de suministro del adobe.

Los aspectos ambientales registraron un comportamiento oscilatorio a escepcion de la emision de gases, existe una relacion inversamente proporcional entre la demanda de agua y los demas aspectos ya que al inicio del proceso, no hay una cantidaad de agua que pueda ser empleada para recirculacion y pretratamiento. (Fig. 5-izquierda).

considerablemente en el mismo periodo de tiempo. Se observa que tanto la demanda de agua como el agua tratada, al inicio del proceso son constantes, al transcurrir el tiempo se tornan inversamente proporcional ya que entre mas agua apta para el proceso se reduce la demanda de agua. De la simulacion tambien se analiza que la cantidd de agua diaria para la recirculacion depende del tiempo de sedimentacion de la arcilla

En la Fig. 5 (derecha) se puede apreciar que al aumentar los factores de los aspectos ambientales los niveles de contaminación se incrementan

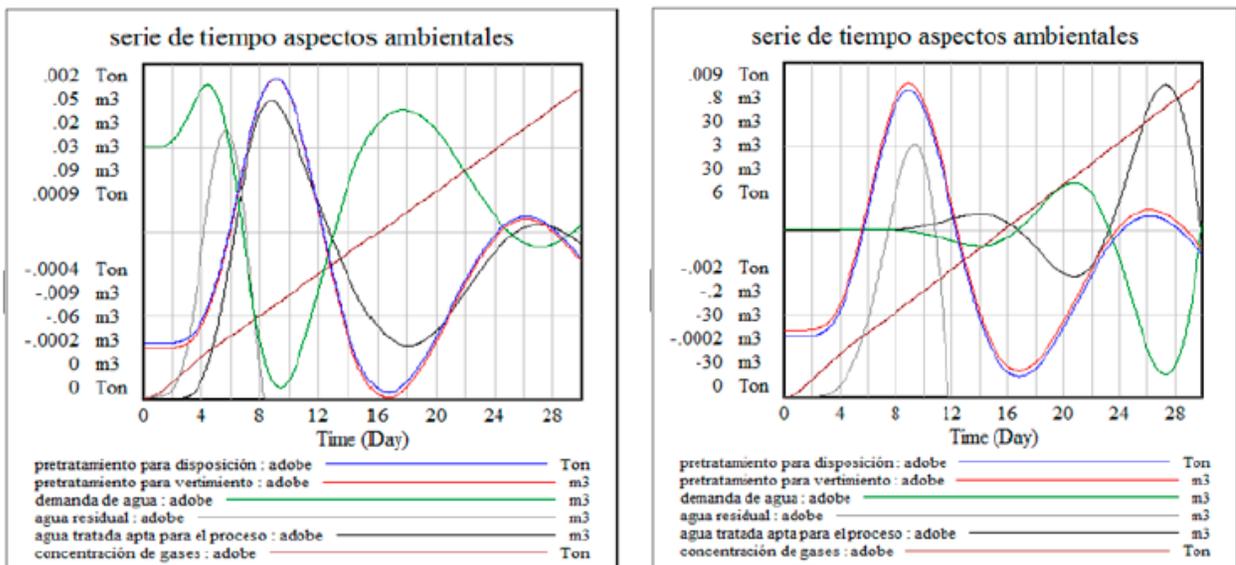


Figura 6. Simulación aspectos ambientales de la cadena de suministro del adobe.

Con respecto a los valores negativos de la simulación se puede establecer que existe un punto en el cual las cantidades disminuyen significativamente debido a que tanto el agua como los residuos que entran de Nuevo al proceso presentan proporciones mínimas, por ellos es necesario incorporar materia prima no reciclada para garantizar la continuidad de la producción.

#### IV. CONCLUSIONES

De acuerdo a la simulación del modelo, se deduce que ningún proceso de construcción y elaboración de materiales es limpio, ya que desde su extracción hasta el producto final, se generan daños ambientales en distintas proporciones.

Los aspectos ambientales están ligados a la cadena de suministro, razón por la cual al aumentar o disminuir el factor de cada aspecto, varía en la cantidad de los niveles de contaminación.

Con respecto a las realimentaciones, en el estado de esta investigación, que orienta a una representación sostenible de la cadena de suministro, que de acuerdo a nuestras hipótesis dinámicas se presentaron dos estructuras de realimentación, al incluir la gestión ambiental del recurso agua y de residuos, debido a que son los factores más influyentes en la cadena.

Para generar bucles de realimentación en otros aspectos ambientales y generar no linealidades en el modelo, es necesario incluir aspectos sociales y económicos dentro del proceso. Esto requiere una investigación más detallada, para complementar el presente modelo con los aspectos mencionados además de desarrollar modelamientos de aspectos ambientales de la cadena de suministro de otros materiales ecológicos y a partir de allí establecer comparaciones en cuanto a costos de producción, calidad y efectividad y contaminantes en cada producto.

En la construcción con adobe se debe tener en cuenta que no es apta para edificaciones horizontales ya que por la consistencia y tamaño del material no es resistente, pero podría mejorarse su calidad y su durabilidad usando materiales adicionales de reforzamiento estructural como madera plástica, guadua o bambú.

#### REFERENCIAS

- Charu, C., & Grabis, J. (2007). *Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions, and Applications* (Springer., pp. 18–21). United States: Springer Science Business Media I.L.C.
- Echeverri, S. R. (2010). Modelización de una cadena de abastecimiento (supply chain) para el sector textil-tejido en el entorno colombiano.
- Forrester, J. (1999) *Industrial Dynamics*. Pegasus Communications. Inc. Waltham.
- Gama-Castro, J. E., Cruz y Cruz, T., Pi-Puig, T., Alcalá-Martínez, R., Cabadas-Báez, H., Jasso-Castañeda, C., ... De Allende, R. V. (2012). Arquitectura de tierra: El adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2), 177–188.
- Gordillo & Aracil. (2007). *Dinámica de Sistemas* (Alianza.). Madrid.
- Hernández, E. (2010). El adobe, ventajas y características térmicas. *Revista Escala*, 120–127.
- Landau, L. (2006). Residuos de construcción y demolición. Universidad de Huelva. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>
- Martusa, M. R. (2013). Green Supply Chain Management : Strategy to Gain Competitive Advantage. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 3(11), 334–341.
- Meindl, P., & Chopra, S. (2013). Supply chain management. In Sunil Chopra (pp. 1–222). Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:SUPPLY+CHAIN+MANAGEMENT#0>
- Misereor. (2000). ADOBE - Manual de Producción. Retrieved from [http://www.misereor.org/fileadmin/redaktion/Adobe\\_Produccion\\_esp.pdf](http://www.misereor.org/fileadmin/redaktion/Adobe_Produccion_esp.pdf)
- Monfort, E., Mezquita, A., Vaquer, E., Celades, I., Sanfelix, V., & Escrig, A. (2014). *Comprehensive Materials Processing*. Comprehensive Materials Processing. Elsevier. doi:10.1016/B978-0-08-096532-1.00809-8
- Morales, R., Torres, R., Rengifo, L., & Irala, C. (1993). *Manual para la construcción de viviendas de adobe*.
- Osorio, & Echeverría. (2014). Estimación de Emisiones Atmosféricas Proyecto Inmobiliario " El Panul ," pp. 1–26. Santiago de Chile. Retrieved from [http://ciparchile.cl/pdfs/2014/01/echeverria/DIA\\_Panul\\_EEA.pdf](http://ciparchile.cl/pdfs/2014/01/echeverria/DIA_Panul_EEA.pdf)
- Red Interinstitucional de Tecnologías Limpias. (2004a). *Factor Crítico Ambiental*. Retrieved from

- [http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/369103/369103\\_fca.htm](http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/369103/369103_fca.htm)
- Red Interinstitucional de Tecnologías Limpias. (2004b). Fuentes principales de contaminación. Retrieved January 1, 2015, from [http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/369102/369102\\_fucon.htm](http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/369102/369102_fucon.htm)
- Rimos, S., Hoadley, A. F. A., & Brennan, D. J. (2014). Environmental consequence analysis for resource depletion. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6), 849–861. doi:10.1016/j.psep.2013.06.001
- Sarimveis, H., Patrinos, P., Tarantilis, C. D., & Kiranoudis, C. T. (2008). Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review. *Computers & Operations Research*, 35(11), 3530–3561. doi:10.1016/j.cor.2007.01.017
- Serrada, R. (2000). *Apuntes de Repoblaciones Forestales (Fucovasa)*. Madrid.
- Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80. doi:10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x
- Zavala, H., & Gonzalez, A. (2011). Análisis comparativos de ciclo de vida en procesos e insumos para construcción y vivienda, 1–5.



## 58. DINÁMICA DE SISTEMAS: PROPUESTA DE MEJORA PARA INDICADORES DE SERVICIO AL CLIENTE EN PUNTOS DE ATENCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO.

### SYSTEM DYNAMICS: PROPOSAL TO IMPROVE THE CUSTOMER SERVICE INDICATORS IN ATTENTION CENTERS OF A PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEM.

**LUIS CAMILO CARVAJAL ECHEVERRI, VALENTINA ALZATE CARMONA, YONY FERNANDO CEBALLOS**

Grupo INCAS - Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia.

lcamilo.carvajal@udea.edu.co, valentina.alzate@udea.edu.co, yony.cebillos@udea.edu.co

#### ABSTRACT

The processes of generating identity cards in integrated transport systems are generally source of complaints by almost all users. This is the starting point in which customers have an ongoing relationship with the company. The way in which these users are handled must involve an agile process, and in the system under study they must go through multiple services for treatment, generating delays in the process and dissatisfaction with the misinformation that users generally have. In this paper a conceptual model of modeling this problem is presented by the approach of system dynamics, in which the need to make decisions regarding technology investment and training the servers in various tasks are identified, together with a better communication strategy, which allows users to enter the system with a pre-filled form, given its availability online

**KEYWORDS:** CRM, Simulation, Satisfaction, system dynamics, transport services.

#### RESUMEN

Los procesos de carnetización en sistemas integrados de transporte generalmente son origen de quejas y reclamos por parte de los usuarios. Este punto es el inicial en el cual los clientes tienen una relación continua con la empresa. La forma en la cual se atienden dichos usuarios debe involucrar un proceso ágil, y en el sistema en estudio ellos deben pasar por múltiples puestos para ser atendidos, generando demoras en el proceso y descontento por la desinformación que generalmente poseen los usuarios. En el presente documento se presenta un modelo conceptual del modelado de este problema mediante el enfoque de dinámica de sistemas, en el cual se identifica la necesidad de tomar decisiones relacionadas con inversión tecnológica y capacitación en diversas labores por parte de los servidores, en conjunto con una mejor estrategia de comunicación, que permita que los usuarios que ingresen al sistema con un formulario previamente diligenciado, dada su disponibilidad online.

**KEYWORDS:** CRM, Simulación, Satisfacción, dinámica de sistemas, servicios de transporte.

#### I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales enfoques de muchas de las organizaciones en la actualidad, ya sean empresas establecidas en el Sector Público o en el Sector Privado, está dado hacia la satisfacción del cliente y/o usuario final, de allí la relevancia que tiene una buena

estructuración de un área que trabaje en pro de esto, el "Servicio al Cliente", y con ella la implementación de los procesos que busquen satisfacer al usuario.

Con base en lo anterior se aborda la situación actual de los puntos de atención de un sistema integrado de transporte y la manera en que en la actualidad se

encuentran establecidos dichos procesos. Dicho sistema, dentro de su estructura tiene definida un área que trabaja buscando la satisfacción de los usuarios que hacen uso del sistema. A través de la implementación de algunos procesos de atención busca generar contacto con los usuarios y pretende agregar experiencias de valor al uso del transporte masivo y es allí donde identificamos un gran campo de acción para trabajar en pro de mejorar los índices de satisfacción de los usuarios que hacen uso de este servicio.

El objetivo del trabajo es estructurar, ajustar y optimizar los diferentes procesos de atención que tiene establecido el sistema de transporte para los usuarios que hacen uso de él.

Cabe aclarar que la organización ya cuenta con una estructura dada para tal fin, con procesos que están pensados en el desarrollo del Sistema Integrado de Transporte a través de los procedimientos de atención al cliente.

Como objetivo se pretende optimizar los procesos de atención que actualmente se desarrollan en los puntos de atención AL CLIENTE buscando así mejorar la percepción de los usuarios del Sistema así como su experiencia y satisfacción al momento de ser atendidos. Junto con lo anterior, se propone dar pautas para el mejoramiento de los procedimientos con que actualmente cuenta la institución buscando involucrar a todo el personal que los desarrolla para que el mejoramiento continuo de estos sea tenido como una herramienta diaria dentro de sus labores cotidianas en los que atención y servicio al cliente respecta.

## II. ESTADO DEL ARTE

Partiendo de la premisa “Un buen servicio al usuario es la base del éxito de una organización” y teniendo en cuenta que en un mundo donde competir y marcar la diferencia son elementos fundamentales para lograr una posición privilegiada dentro de la industria, el papel que juega el servicio al cliente es esencial al momento de hacer que una organización desarrolle ventajas competitivas. La implementación de simples acciones como un proceso posventa ahora no es suficiente para ser reconocidos por tener una atención asertiva y oportuna que es lo que el cliente valora de una marca o servicio. En este orden de ideas es necesario tener más que “buenas intenciones” dentro de la interacción cliente – organización para alcanzar lo que la empresa

colombiana actual ambiciona: reconocimiento, posicionamiento y aceptación en el mercado.

Para ello existen varias herramientas (TOM, CRM, Indicadores de SAC, entre otras) que permiten lograr la satisfacción integral del cliente frente a un producto o servicio. El Total Order Management (TOM) es un proceso que permite visualizar el ciclo completo del producto o servicio desde su origen hasta llegar al cliente final, de esta forma se permite la generación de nuevas oportunidades de mejora en cualquier punto del proceso [1]; Customer Relationship Management (CRM) es una herramienta que tiene tres focos principales: el servicio al cliente, el mercadeo y las ventas, la cual pretende unir estas tres áreas de la empresa para tener un conocimiento “360”, es decir holístico, del cliente, para conocer sus necesidades y expectativas y trabajar de forma unánime para alcanzar los objetivos estratégicos, tácticos y operacionales de la compañía [2]; los Indicadores de Servicio al Cliente (indicadores SAC) , nos permiten establecer pesos de acuerdo a la importancia que la compañía le da a cada uno, de esta forma es posible llevar un dato cualitativo a ser medible y poder realizar monitoreo constante para buscar e implementar mejoras continuas en los procesos, es decir crear un pensamiento de servicio en el que sea consciente que no es sólo atender un reclamo o generar un cambio de un artículo que ha resultado defectuoso, es ir más allá de las expectativas del cliente [3].

Cada una de las herramientas mencionadas se enfocan en mejorar la satisfacción y la percepción del cliente en cuanto a el producto o servicio que se está brindando; para la implementación de una o varias de estas herramientas es necesario realizar un el análisis de la situación actual que permita visualizar los aspectos susceptibles a ser mejorados; de esta forma en este trabajo serán abordados desde la implementación de los más recientes estudios que aporten estrategias de valor a los aspectos más relevantes de SAC así como de mercadeo relacional.

## III. HIPÓTESIS DINÁMICA

Según Ackoff [4], el concepto de pensamiento sistémico sirve para mostrar el comportamiento de los sistemas como resultado de las relaciones existentes entre sus elementos, en lugar de la tradicional visión de que un sistema es igual a la suma de los elementos que lo componen, y a diferencia del planteamiento del método científico que sólo percibe partes de éste y de manera inconexa [5], modelándolos por separado. Esta

necesidad dio origen al pensamiento sistémico como elemento integrador, tanto en el análisis de las situaciones como en las conclusiones que nacen a partir de allí, que propone soluciones en las cuales se tienen que considerar diversos elementos y relaciones que conforman la estructura de lo que se define como "sistema", así como también de todo aquello que conforma el entorno del sistema definido. La base filosófica que sustenta esta posición es el "Holismo", en el cual se define que los sistemas pueden ser explicados a partir de sus partes, y que la suma de las mismas determina cómo se comporta el sistema, como un todo [6]–[8].

En las relaciones con los clientes, la necesidad más importante es tener un momento de verdad apropiado y que la recordación de los mismos se fundamente en el buen servicio. No obstante, en un sistema público de transporte no es posible que el usuario tenga opciones para una selección apropiada de servidores, por lo tanto las áreas asociadas a la relación con los clientes no son capacitadas apropiadamente para entender las necesidades de dicho cliente y cumplir con las expectativas de atención.

Para abordar el problema descrito, se identifican un conjunto de variables que pueden tomar relevancia en un proceso de análisis de relaciones con los clientes.

**Orientación al usuario:** Hace referencia al proceso de asesoría previa a la atención que tienen los usuarios antes de llegar a los módulos de atención al usuario. Variable medida en minutos por cliente en orientación.

**Número de empleados:** Indica el número de personas con que se cuenta para realizar labor de atención al cliente, esta variable está dada en número de asesores por punto de atención.

**Personal capacitado:** Hace referencia a los empleados que cuentan con un proceso de formación para el desarrollo de las labores inherentes a la atención al cliente que se desarrolla en los puntos de atención, variable dada en número de personas por punto de atención.

**Capacitación:** Es el proceso de formación que desarrolla la organización para preparar al personal que realiza labores de atención al cliente, variable dada en número de horas de capacitación por asesor en el mes.

**Diversificación de funciones del personal:** Hace referencia a la capacidad que tienen los funcionarios de los puntos de atención para ser polifuncionales, esta variable está estrechamente ligada con la capacitación del personal. Se mide en número de asesores por punto de atención.

**Tiempo de atención:** Indica cuanto se toma un asesor de servicio al cliente en la atención de los requerimientos de los clientes que visitan los puntos de atención, variable medida en número de minutos por cliente atendido.

**Diligenciamiento previo de formularios:** Muestra la cantidad de formularios que son diligenciados previamente por los clientes que se acercan a los puntos de atención y que con este procedimiento se da agilidad a la atención de los mismos. Variable medida en número de formularios por día.

**Cientes atendidos:** Número de clientes que se acercan a los puntos de atención y son atendidos por los asesores de servicio al cliente en el Sistema, variable medida en usuarios atendidos por día.

**Recursos:** Son todas las herramientas necesarias para el desarrollo de los procedimientos y procesos (elementos ofimáticos, paquetes informáticos, infraestructura, talento humano, etc.).

**Computadores integrales:** Herramientas ofimáticas que cuentan con todos los aplicativos para el desarrollo integral de los procesos de atención al cliente por parte del personal de servicio al cliente. Se mide por cantidad de computadores por punto.

**Satisfacción del usuario:** Indicador que muestra qué tan satisfechos se encuentran los clientes con la atención recibida por el personal que brinda servicio al cliente, variable medida entre 1 y 5.

La hipótesis dinámica se especifica en cada par de relaciones y su efecto en conjunto de la siguiente forma: Si se realizan mejoras en la orientación que se brinda al usuario para realizar el proceso de adquisición de la tarjeta, el diligenciamiento previo de formularios será mucho más ágil. De ahí, al mejorar la orientación al usuario, se disminuyen los tiempos ya que el usuario tiene más claro el proceso y los requisitos que debe cumplir antes de ser atendido y si los usuarios tienen los formularios diligenciados antes de ser atendidos se disminuye el tiempo de atención (Ver figura 1).

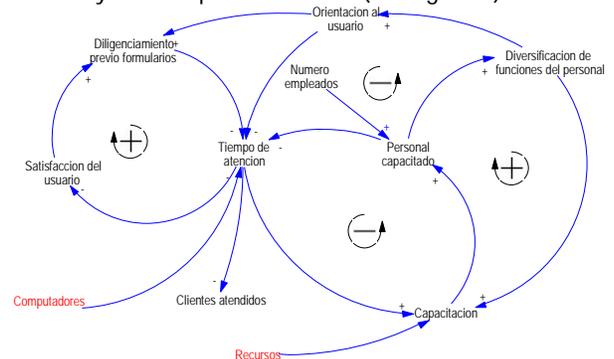


Figura 1. Modelo causal.

Posteriormente, si el diligenciamiento correcto de formularios aumenta se puede presentar un índice mayor de satisfacción al agilizar los tiempos de atención, esto puede influir positivamente en el índice de satisfacción de los usuarios ya que su paso por los puntos de atención se ve alterado por tener tiempos elevados.

Si todos los computadores de la oficina cumplen una función integral (tienen todo el software necesario para realizar todas las tareas que se hacen en cada equipo de manera independiente) y tienen la capacidad de realizar todos los procesos necesarios para completar la solicitud de la tarjeta, entonces el tiempo de atención se disminuye.

Una mayor diversificación de las funciones del personal es un efecto derivado de incrementar los procesos de formación en el personal de atención al cliente ya que al realizar capacitación constante el personal estará en mayor capacidad de brindar una atención más precisa.

A mayor número de empleados es necesario que se aumente la capacitación en el recurso humano, porque cuando el personal se capacita de forma constante el tiempo de atención es menor ya que tienen más claro el proceso a seguir, además de que cada empleado pueda cumplir cualquier tarea, incluso orientar de una manera eficiente a los usuarios. Si se diversifican las herramientas para el desarrollo de los procesos es necesario que se realice capacitación a los empleados para su correcto uso. A menor tiempo de atención se presenta un incremento en la cantidad de clientes atendidos en los puntos de atención de clientes.

En general, la forma en la cual se debe abordar el problema involucra una visión holística del problema, lo cual es necesario aclarar para tener un modelo que represente la situación problemática en cuestión. El análisis de situaciones que conlleven al mejoramiento de la calidad en la atención de los usuarios y a la disminución en los tiempos de espera por parte de los usuarios no ha sido una problemática estudiada, por lo tanto, se pretende analizar y simular si una aproximación que involucre una posible visión universal del problema pero que a su vez sea sencilla, permite elaborar una aproximación simple de modelado a cualquier grupo humano.

Como herramienta para resolver este problema se ha empleado la Simulación, no obstante, los análisis realizados mediante esta herramienta han sido en un

solo instante de tiempo, observando cambios inmediatos y posteriormente evaluando el cliente con miras a cambiar el entorno en lo menos posible.

Por lo antes descrito, es necesario realizar un proceso de elaboración de un modelado en evaluación, que sea apropiada para mejorar las situaciones que se presentan a los usuarios de largas esperas para ser atendidos y que además, emplee algún tipo de herramienta de simulación, para hacer un estudio aproximado de la pre-factibilidad de la mejora en tiempos de espera, desde un enfoque social y orientado al desarrollo de la empresa y el mejoramiento del servicio.

#### IV. DIAGRAMA DE FLUJOS Y NIVELES

Por lo antes descrito, es necesario realizar un proceso de elaboración de un modelado en evaluación, que sea apropiada a mejorar las situaciones que se presentan a los usuarios por esperas e inconformidad.

En el modelo descrito en la figura 2 se observa la forma en la cual la percepción de calidad de servicio incrementa en el tiempo la satisfacción del usuario. La ecuación se fundamenta en la diferencia que existe entre el tiempo nominal de servicio respecto al tiempo real, en función del nivel de capacitación de los empleados.

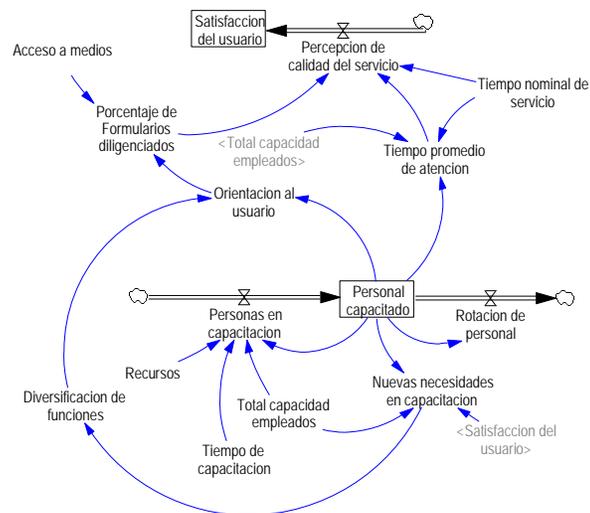


Figura 2. Diagrama de flujos y niveles.

En cuanto al personal capacitado, este se incrementa en función de las políticas de capacitación de la empresa, sin embargo esto está directamente relacionado con las horas de capacitación al mes, además de la disponibilidad de recursos monetarios para dicha capacitación, es necesario tener en cuenta

que la apropiación del conocimiento por parte de los empleados está relacionada directamente con el tiempo de retardo en capacitación.

### V. RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 3 se muestra el funcionamiento de los servidores, en cada punto de atención se realizan procesos para recepción de documentación, entrega de carnetización, información al usuario, actualización de datos.

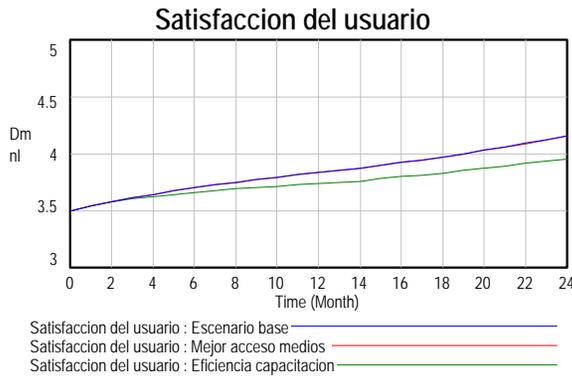


Figura 3. Satisfacción del usuario.

Tomando como referencia un escenario base para evaluar el impacto que tiene la capacitación a los servidores en la satisfacción al cliente; se realiza la medición en función de meses ya que la capacitación del personal debe ser realizada de forma paulatina y ésta va ligada a la adquisición de nuevas herramientas tecnológicas, lo cual requiere un tiempo de espera mientras se realiza la adquisición del software y licencias necesarias. Se identifica que al aumentar el acceso a los medios la satisfacción del usuario se impacta de forma positiva a la par, igualmente si aumenta la capacitación de una forma eficiente para el personal, la satisfacción del cliente aumenta.

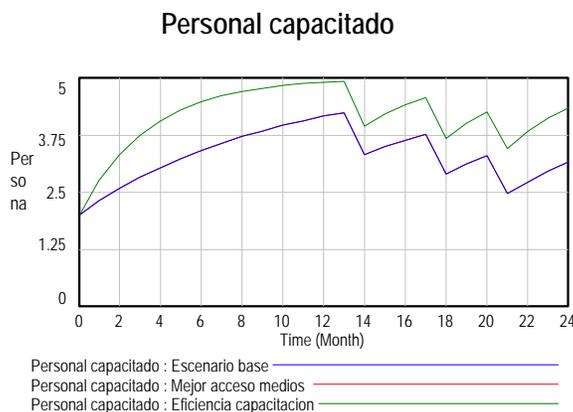


Figura 4. Personal capacitado.

Por medio del aumento en la capacitación del personal el número de personas que serán atendidas en el sistema es mayor, ya que esto permite aumentar la agilidad y disminuir procesos que se ejecutan de forma más precisa. Se presenta en una línea de tiempo dada en meses ya que la agilidad y mejora en la atención va de la mano con el tiempo de capacitación brindado, existe la restricción del número de personal que debe continuar en los puntos de atención al mismo tiempo que se va realizando la capacitación; luego del mes 12 se presenta una variación en el número de personas atendidas, puede suceder ya que el personal necesita nueva capacitación, las tecnologías de la información deben ser actualizadas lo cual requiere tiempo para su adquisición.

### VI. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que en la satisfacción de los usuarios de un sistema masivo de transporte está involucrada una cantidad significativa de variables, teniendo el tiempo de atención como una de las más relevantes, de allí que el trabajo para el mejoramiento de los tiempos redunde en consecuencias positivas para los clientes y mejore tanto la percepción que ellos tienen del sistema del transporte como su índice de satisfacción.

Se puede concluir, con los resultados descritos, que desarrollar un modelo donde se puedan ajustar de manera favorable las variables que en él intervienen permite tener una visión a futuro de la posibilidad de mejoramiento en los procesos de atención y por ende en los índices de satisfacción de los usuarios de un sistema masivo de transporte. Además, en este modelo dinámico se puede observar el incremento en la satisfacción de los usuarios a través del tiempo, lo que sugiere continuar con el desarrollo de planes de formación y capacitación para el personal que desarrolla los procesos de atención en los puntos de servicio del sistema masivo de transporte.

El tema desarrollado en el artículo contempla variables cualitativas que permiten incrementar los niveles de satisfacción de los clientes que hacen uso de los puntos de atención del sistema de transporte, sin embargo el tema de la inversión requerida no es evaluado y puede ser tenido en cuenta para desarrollo de próximos trabajos que evalúen la inversión requerida vs el aumento de los índices de satisfacción. En las simulaciones realizadas para observar el comportamiento de los índices de satisfacción vs la

capacitación del personal y la capacitación del personal vs las personas atendidas, se observa que es viable implementar las mejoras propuestas asociadas a cada una de las variables mencionadas, ya que se aumenta el número de personas atendidas y la satisfacción de las mismas, más allá de una atención simple se trabaja por brindarle una experiencia al cliente, y si esta experiencia es positiva se aumenta el número de clientes que ingresarán al sistema.

Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. Su doctorado fue en la comparación de metodologías de simulación aplicadas a problemas de desarrollo rural. Es profesor de la Universidad de Antioquia desde 2005, en los temas de simulación, optimización, métodos numéricos y cuantitativos, análisis de algoritmos y teoría de grafos. Integrante activo del grupo de Investigación INCAS (Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento) Actualmente su investigación se centra en modelos de simulación basados en agentes y con métodos cuantitativos.

## REFERENCIAS

- [1] M. Parchami Jalal and S. Matin Koosha, "Identifying organizational variables affecting project management office characteristics and analyzing their correlations in the Iranian project-oriented organizations of the construction industry," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 33, no. 2, pp. 458–466, 2014.
- [2] F. Khodakarami and Y. E. Chan, "Exploring the role of customer relationship management (CRM) systems in customer knowledge creation," *Inf. Manag.*, vol. 51, no. 1, pp. 27–42, 2014.
- [3] C. J. Gelderman, J. Semeijn, and A. de Bruijn, "Dynamics of service definitions—An explorative case study of the purchasing process of professional ICT-services," *J. Purch. Supply Manag.*, vol. 21, no. 3, pp. 220–227, 2015.
- [4] R. Ackoff, *The Art of Problem Solving*. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- [5] K. R. Popper, *La lógica de la investigación científica*. Ed. Tecnos, 1980.
- [6] J. McIntyre and M. Pradhan, "A systemic approach to addressing the complexity of energy problems," *Syst. Pract. action Res.*, vol. 16, no. 3, pp. 213–223, 2003.
- [7] P. Hjorth and a Bagheri, "Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach," *Futures*, vol. 38, no. 1, pp. 74–92, Feb. 2006.
- [8] F. Squazzoni, "The micro-macro link in social simulation," *Sociologica*, vol. 1, no. 2, pp. 1–26, 2008.

## AUTORES

**Valentina Alzate Carmona**. Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad de Antioquia.

**Luis Camilo Carvajal Echeverri** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad de Antioquia.

**Yony Fernando Ceballos** Ingeniero de sistemas e Informática, Magister en ingeniería y Doctor en

## 59. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

LISETH BUSTOS TORRES, LAURA OSPINA QUIROZ, J.M. REDONDO PHD

Universidad ECCI, Bogotá - Colombia  
lbt\_tbl@hotmail.com, julieth0102\_@hotmail.com

### RESUMEN

En este artículo se presenta un modelo dinámico del comportamiento que tiene la generación de biogás a partir de materia orgánica, para producir energía eléctrica como alternativa de autoabastecimiento para la PTAR El Salitre. Para esto, se utilizó la metodología de la Dinámica de Sistemas, ya que esta es útil para dar solución a problemas complejos, dado que el aprovechamiento y mal manejo de materias importantes para procesos de producción como los residuos orgánicos, genera altos costos de tratamiento, pudiendo ser aprovechados efectivamente en procesos como la producción de energía eléctrica. Mediante simulaciones se determina que para cualquier variación de los parámetros el sistema tendrá un comportamiento periódico, además de que para la producción de energía de autoabastecimiento es indispensable la tasa de generación de Biogás.

**PALABRAS CLAVE:** Biogás, materia orgánica, energía eléctrica, potencial energético.

### I. INTRODUCCIÓN

La materia orgánica puede transformarse en energía utilizable. Según [1] en su artículo "Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options" del tratamiento de las aguas residuales de las PTAR a nivel mundial, se generan grandes cantidades de lodos, con altas proporciones de material orgánica, algunas sustancias tóxicas o peligrosas pero con mucho potencial energético.

Según una investigación realizada por [2]:

*"El impacto ambiental más severo de los lodos es el mal olor que generan y que hace que las comunidades se organicen para oponerse a la instalación en las cercanías de sus residencias. Existen diversos criterios de diseño de las plantas que permiten minimizar los olores. Además es necesario depositarlos en grandes extensiones que quedan inutilizadas para otros usos y eliminan la flora nativa subyacente con una potencial pérdida de biodiversidad. La adecuada disposición de la gran cantidad de lodos generados en los centros poblados es un problema contingente y complejo, con*

*efectos sociales<sup>8</sup>, económico y ambiental. La posibilidad de utilizar esta biomasa con fines energéticos depende del poder calorífico de los lodos."*

Por su parte, las aguas que llegan a la PTAR El Salitre de la zona norte de la ciudad de Bogotá por medio del sistema de alcantarillado sobre la cuenca del Salitre, en su mayoría aguas domésticas, según la empresa de acueducto, agua, alcantarillado y aseo de Bogotá en su plegable técnico, tienen una demanda de lodos digeridos de 33994,1 m<sup>3</sup>/mes los cuales se estabilizan con la ayuda de tres digestores anaeróbicos mediante la acción de procesos microbiológicos esenciales para descomponer la materia orgánica y así generar agua y biogás aproximadamente 350300 m<sup>3</sup> mensuales según lo indica [3] en su plegable técnico.

Cabe resaltar que existen diferentes procesos para la generación de energía eléctrica a partir de materia orgánica, entre ellos se encuentran procesos térmicos, como la combustión, pirolisis y gasificación y los procesos bioquímicos como la digestión aerobia, digestión anaerobia y los procesos químicos. Según lo menciona [4]:

<sup>8</sup> L.B. Torres, Universidad ECCI, Bogotá, lbt\_tbl@hotmail.com  
L.O. Quiroz, Universidad ECCI, Bogotá, julieth0102\_@hotmail.co

Existen diferentes tratamientos para reducir el volumen de lodos residuales generados y estabilizarlos volviéndolos biosólidos, es decir, un producto que pierde sus propiedades contaminantes y que pueda ser reutilizado como: composta, fertilizante, mejorador de suelos, reutilización en procesos industriales y generación de energía eléctrica.

Los tratamientos para la reducción de volumen son: deshidratación (para quitar la humedad mediante aplicación directa de calor) e incineración (realizar la combustión mediante quemadores). El problema que se presenta con estos tratamientos es que la deshidratación únicamente reduce en un 20% el volumen y la incineración, aunque reduce el volumen en un 80% eliminando los compuestos orgánicos tóxicos; destruye las bacterias y nutrientes que pudieran ser útiles para. Por su parte, los procesos de estabilización son: digestión anaerobia, la cual se realiza en ausencia de oxígeno desprendiendo gas metano y disminuyendo la cantidad de materia orgánica por lo que pierde en gran porcentaje sus propiedades contaminantes; digestión aerobia, que en contraste al proceso anterior, se realiza en presencia de oxígeno provocando que se reduzca la materia orgánica presente y tratamiento químico el cual consiste en añadir cal a los lodos con la finalidad de oxidarlos y evitar su fermentación.

El biogás obtenido en la PTAR está compuesto por Metano 70%, Dióxido de carbono 29,5% y Nitrógeno 0,5% [4]. Debido a su alto contenido de metano, tiene un poder calorífico de 4767 Kcal/m<sup>3</sup> y una eficiencia de combustión del 60% [5]. Es decir, es un combustible ideal, para generar energía eléctrica.

En este documento se presenta el modelamiento del potencial de generación de energía eléctrica con Biogás a partir de la digestión anaerobia de los lodos generados en los procesos de tratamiento de aguas residuales de la PTAR El Salitre para el autoabastecimiento de la misma.

El propósito de este documento es generar un referente de alternativas de utilización de los lodos generados en una PTAR sin generar impactos ambientales negativos.

## II. MODELO

La estructura básica del modelo está conformada por los siguientes enunciados:

1) *H1: El incremento de la materia orgánica produce un aumento en la cantidad acumulada de biogás.*

Los lodos provenientes de los tratamientos de aguas residuales de la PTAR El Salitre por medio del sistema de alcantarillado están cargados de materia orgánica. Mediante un sistema de digestión anaerobia reduce en 24% el volumen de lodos residuales, produce un 25% adicional de energía y representa una reducción del 30% del costo anual de manejo y disposición de lodos residuales, el cual se estima que es de aproximadamente el 45% del gasto anual de una PTAR [6].

2) *H2: El aumento de la cantidad de biogás acumulado, incrementa la energía para autoabastecimiento.*

El biogás es obtenido a partir de la digestión anaerobia de los lodos; este consiste principalmente de metano y dióxido de carbono, con cantidades muy pequeñas de otros compuestos orgánicos y contaminantes atmosféricos [7]. Según [6], con la captura del biogás por medio de un sistema de digestión anaerobia se estima que 1 metro cúbico de biogás tiene el potencial de generación de 1,6 kilowatt hora. En la PTAR El Salitre el aprovechamiento de la materia orgánica tiene un potencial de generación de 5kilowatt 560480 kilowatt por hora al mes, lo que significa que la energía generada al aprovechar el biogás, abastecería la planta de energía eléctrica sin necesidad de usar el servicio de Sistema de Interconectado Nacional.

3) *H3: El incremento de energía para autoabastecimiento, disminuye el consumo energético del Sistema Interconectado Nacional.*

El Sistema Interconectado Nacional, es un sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios (ley 143 de 1994 artículo 11).

4. *H4: El incremento del consumo energético del sistema interconectado nacional, aumenta los costos por energía en la PTAR El Salitre.*

El costo del consumo energético pagado por la PTAR El Salitre en operación al sistema interconectado nacional es de aproximadamente 2046686530,00 por año, según el informe de actividades del 2014.

5. H5: El incremento en los costos por energía, incrementa la necesidad de materia orgánica.

Para disminuir los costos por energía, se potencializa el uso del biogás como alternativa de generación de energía eléctrica para autoabastecer la planta, por lo tanto, incrementa la necesidad de materia orgánica.

6. H6: El incremento de la necesidad de materia orgánica, incrementa la materia orgánica.

Para autoabastecer la PTAR, se incrementa la demanda de materia orgánica, para generar biogás y producir energía eléctrica.

Las relaciones se presentan en el diagrama causal Fig.1, conformando así un bucle de realimentación negativa lo que significa que la producción de biogás a partir de lodos digeridos incrementa la producción de energía eléctrica para autoabastecimiento de la PTAR.

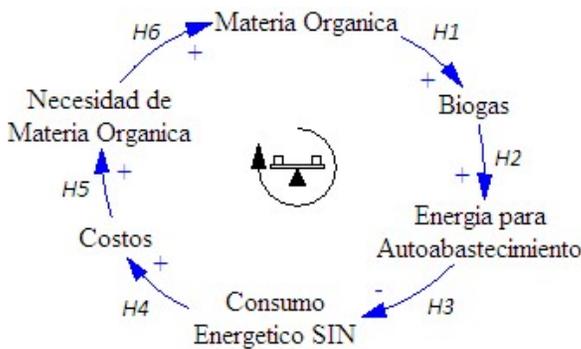


Figura 1. Diagrama Causal

A partir del diagrama causal se propuso el diagrama de niveles y flujos presentado en la Fig.2, considerando como variables de estado para el estudio: 1) materia orgánica y 2) energía para autoabastecimiento. Las ecuaciones del diagrama se presentan a continuación.

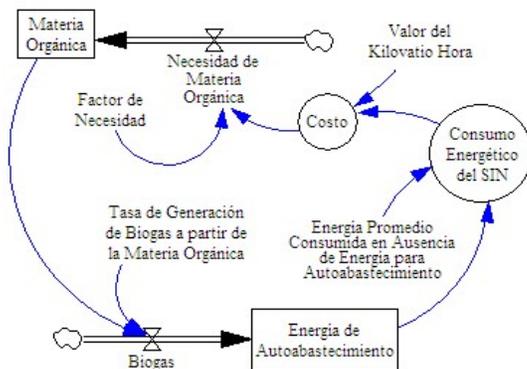


Figura 2. Diagrama de Niveles y Flujos

### III. ECUACIONES

A partir del diagrama de niveles y flujos se establecen las ecuaciones para posteriormente simular el comportamiento del sistema, así:

#### Ecuaciones de Nivel

La variable de estado "materia orgánica" está dada en m3/mes por:

$$\frac{dMO}{dt} = NMO \tag{3.1}$$

Donde NMO es la necesidad de materia orgánica para llevar a cabo los procesos en la PTAR El Salitre y así poder autoabastecerse energéticamente, dada en m3/mes.

Posteriormente la variable de estado "energía para autoabastecimiento" está dada en KWH por:

$$\frac{dEA}{dt} = B \tag{3.2}$$

Donde B es el biogás generado a partir del incremento de la materia orgánica, este dado en m3/mes.

#### Ecuaciones de Flujo

En ecuaciones de flujo se encuentra la "necesidad de materia orgánica" dada en m3/mes por:

$$NMO = m \cdot C \tag{3.3}$$

Donde m es el factor de necesidad de materia orgánica y C son los costos en pesos que representa para la PTAR El Salitre.

La ecuación de flujo del biogás dada en m3/mes por:

$$B = \delta \cdot MO \tag{3.4}$$

Donde  $\delta$  es la tasa de generación de biogás a partir de la materia orgánica y MO es la materia orgánica en m3/mes necesaria para generar el biogás.

#### Ecuaciones Auxiliares

En ecuaciones auxiliares se encuentra el consumo energético del sistema interconectado nacional en KWh:

$$CESIN = \lambda - EA \tag{3.5}$$

Donde  $\lambda$  es la energía promedio consumida en ausencia de energía para autoabastecimiento y EA es la energía de autoabastecimiento generada a partir del aprovechamiento del biogás.

Ecuación auxiliar de costos expresada en pesos (\$) por:

$$C = K \cdot \text{CESIN} \quad (3.6)$$

Donde K es el valor de KWh expresado en pesos (\$) y CESIN es el consumo de energía del sistema interconectado nacional, este dado en KWh.

Según el informe mensual de actividades de agosto de 2014 la tasa de producción de biogás fue de 350300 m<sup>3</sup>/mes y los costos fueron de \$1293263200, por lo cual se tomaron como valores de referencia [8].

### Modelo Matemático

Realizando la composición de las ecuaciones presentadas, se obtiene el modelo matemático que se presenta a continuación:

$$\frac{d}{dt} \text{MO} = m \cdot K \cdot (\lambda - \text{EA}) \quad (3.7)$$

$$\frac{d}{dt} \text{EA} = \delta \cdot \text{MO} \quad (3.8)$$

Realizando el cambio de variables  $C_1 = m \cdot K \cdot \lambda$ ,  $C_2 = m \cdot K$ , y  $x = \text{MO}$ , se obtiene el siguiente sistema lineal:

$$\dot{x} = C_1 - C_2 \cdot y \quad (3.9)$$

$$\dot{y} = C_3 \cdot x \quad (4.0)$$

Donde el punto sobre el vector representa la derivada con respecto al tiempo.

Expresado matricialmente se representa como  $\dot{X} = AX + B$ ,  $X = (x, y)^T$ , la matriz A es la matriz de evolución.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -C_2 \\ C_3 & 0 \end{pmatrix}$$

Y el vector B tiene la forma;

$$B = \begin{pmatrix} C_1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Es fácil ver que los auto valores  $\lambda = \pm \sqrt{C_2 C_3} i$  de la matriz son los valores imaginarios puros, luego se espera que los comportamientos del sistema en el retrato de fase estén completamente caracterizados por órbitas periódicas.

## IV. MÉTODO

Se aplicó la metodología de dinámica de sistemas, utilizando el Software especializado Vensim PLE 6.3 en el lapso de tiempo 2014-2024, la técnica de integración Runge Kutta 4 Automático, con unidad de tiempo de mes y tamaño de paso de 1. Este permite hacer representaciones sistémicas evidenciando una evolución temporal del sistema.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se tienen en cuenta cuatro comportamientos específicos que se presentan a continuación.

La simulación presentada en la Fig. 3 muestra que al haber un incremento en la energía consumida en ausencia de energía para autoabastecimiento y la tasa de producción de biogás ser media, tanto la materia orgánica como la energía para abastecimiento tendrán un comportamiento periódico constante que indica que al haber materia orgánica para producir biogás hay energía para autoabastecimiento.

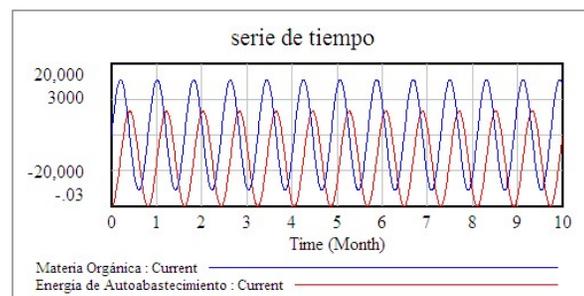


Figura 3. Primera simulación.

La simulación presentada en la Fig. 4 muestra que al haber una producción de biogás media y no presentarse una tasa de necesidad alta, habrá una cantidad de materia orgánica que oscila con una amplitud mínima al igual que la energía de autoabastecimiento, sin embargo esta es negativa.

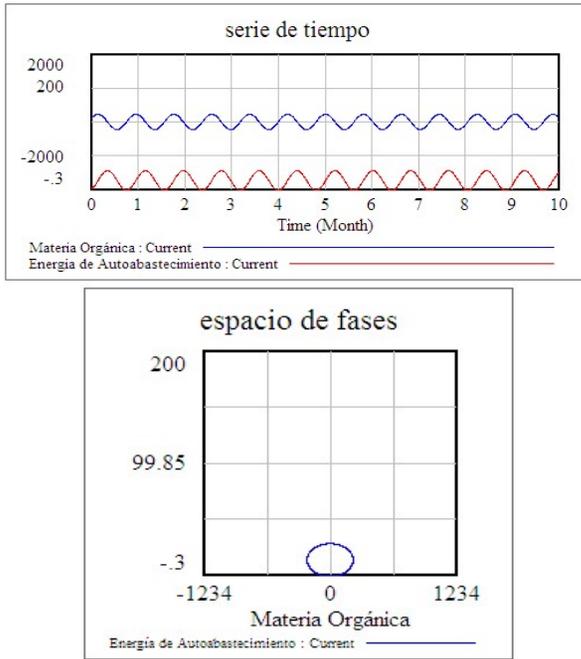


Figura 4. Segunda simulación

La simulación presentada en la Fig. 5 muestra que entre más consumo de energía, una tasa de generación de biogás media y al aumentar los costos de la energía; el sistema oscila en menor proporción.

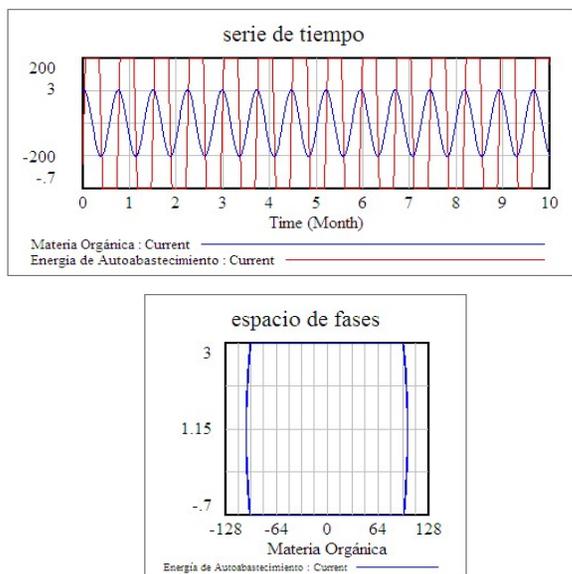


Figura 5. Tercera simulación.

La simulación presentada en la Fig. 6 muestra un comportamiento tanto lineal como exponencial, que evidencia que al haber un consumo de energía medio y no haber producción de biogás e incrementarse el factor de necesidad; hay un incremento de materia orgánica que no es aprovechada puesto que no hay generación de biogás lo que hace que la energía de autoabastecimiento sea nula.

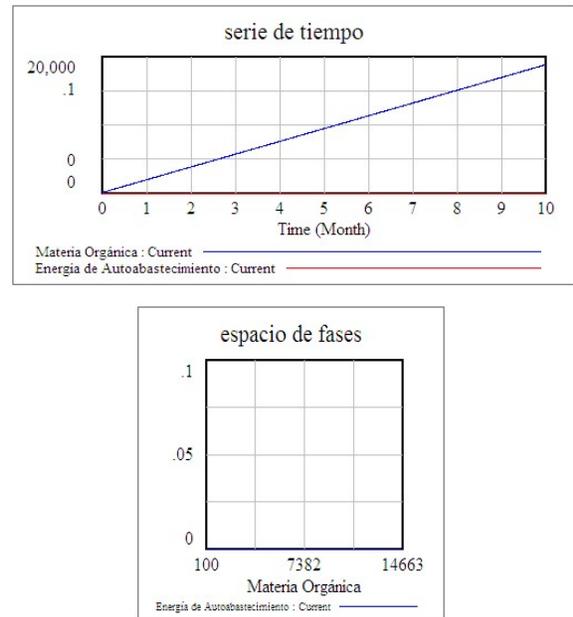


Figura 6. Cuarta simulación.

De acuerdo a las simulaciones obtenidas, el comportamiento del sistema es periódico, es decir, para cualquier variación de los parámetros tendrá un comportamiento reiterado. El incremento de la producción de biogás genera un incremento en la energía para autoabastecimiento por lo cual se disminuye el consumo energético del sistema interconectado nacional.

## VI. CONCLUSIONES

Las simulaciones realizadas a partir del diagrama causal y su posterior diagrama de niveles y flujos determinan un comportamiento oscilatorio del sistema, que también se ve reflejado en el análisis de la matriz de evolución, donde además se determina que para cualquier variación de parámetros el sistema tendrá un comportamiento periódico.

Teniendo en cuenta lo anterior, la energía para autoabastecimiento en determinado tiempo va a representar un costo debido a que su incremento no

llega a un punto de equilibrio, por lo cual se deben evaluar diferentes posibilidades para que la energía sobrante luego de autoabastecer la PTAR El Salitre, pueda ser utilizada en otros procesos en diferentes empresas que lo requieran o pueda ser incorporada al sistema interconectado nacional y así reducir los costos a la población.

## REFERENCIAS

- [1] Rulkens, K. (25 de septiembre de 2007). Energy&fuels. Recuperado el 12 de diciembre de 2014, de " Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options" : <http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/ef700267m>
- [2] Pontificia universidad católica de Chile. (2010). Energía, Un desafío. Recuperado el 3 de 1 de 2015, de <http://www.energiaundesafio.cl/index.php/fuentesrecursos-renovables/energia-de-biomasa/biomasa-desistemas-de-tratamiento-de-aguas-servidas>
- [3] Empresa de acueducto agua, alcantarillado y aseo de Bogotá. (2013). plegable técnico. Recuperado el 20 de 12 de 2014, de [http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/recursos/PTAR/Plegable\\_tecnico.pdf](http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/recursos/PTAR/Plegable_tecnico.pdf)
- [4] Rebeca Rojas Remis, L. G. (2011). Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. .Recuperado el 15 de 01 de 2015, de [http://www.redisa.uji.es/artSim2011/RecuperacionDeEnergiaAPartirDeResiduos/EI%20potencial%20de%20generaci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20empleando%20bios%C3%B3lidos%20como%20fuente%20de%20materia%20prima\\_%20EI%20caso%20de%20la%20ciudad%20de](http://www.redisa.uji.es/artSim2011/RecuperacionDeEnergiaAPartirDeResiduos/EI%20potencial%20de%20generaci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20empleando%20bios%C3%B3lidos%20como%20fuente%20de%20materia%20prima_%20EI%20caso%20de%20la%20ciudad%20de)
- [5] BOGOTA, A. D. (2013). PLEGABLE TECNICO. Recuperado el 20 de 12 de 2014, de [http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/recursos/PTAR/Plegable\\_tecnico.pdf](http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/recursos/PTAR/Plegable_tecnico.pdf)
- [6] Zorg-biogas. (s.f.). Biogas Zorg. Recuperado el 18 de 12 de 2014, de <http://zorg-biogas.com/biogasplants?lang=es>
- [7] Stege, G. A. (septiembre de 2009). Manual del Usuario. Recuperado el 15 de enero de 2015, de <http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/ManualdeUsuarioModeloColombiano.pdf>
- [8] Empresa de acueducto, agua, alcantarillado y aseo de Bogotá. (Septiembre de 2014). Informe de actividades agosto 2014. Recuperado el 28 de 12 de 2014, de [http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/recursos/PTAR/INFORME\\_FINAL\\_AGOSTO](http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/recursos/PTAR/INFORME_FINAL_AGOSTO)

## 60. MODELO DINÁMICO PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL COMPONENTE ORGÁNICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.

**JOHAN E. VEGA, JESSICA MORA, JUAN C. OSORIO. MSC**

Universidad del Valle, Palmira, Valle del Cauca, Colombia

johan.vega@correounivalle.edu.co, jessica.mora@correounivalle.edu.co, Juan.osorio@correounivalle.edu.co

### ABSTRACT

Economic growth and massive urbanization have increased electricity consumption and waste generation. These last situations contribute to increasing greenhouse gas emissions (GHG). Therefore, it is important to consider other energy sources such as the organic component of Solid Waste Management (MSW), also known as biowaste, which through a conversion process can be used to produce electricity. This article provides a perspective on the use of MSW as a renewable energy source that reduces GHG emissions when it supplies a percentage of non-renewable energy sources demand. The system dynamics model presented is simulated considering initial parameters of the population, the fraction of the organic component of municipal solid waste and can be recycled in the city of Santiago de Cali, Colombia. With the simulation results are expected to provide elements for analyzing the recovery of electrical energy from MSW as an alternative renewable energy supply.

**KEYWORDS:** Municipal Solid Waste; Biowaste; Electricity generation; System dynamics; Greenhouse gas reduction, Colombia.

### I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población, el desarrollo tecnológico y el consumismo creciente han llevado a un incremento de la producción de residuos [1]. Los residuos sólidos urbanos (RSU) son aquellos que provienen de las actividades domésticas, comerciales, industriales (pequeña industria y artesanía), institucionales, de mercados, y los resultantes del barrido y limpieza de vías y áreas públicas [2]. Los componentes principales de los RSU son similares a lo largo del mundo, pero su volumen, densidad y proporción, varían mucho de país a país y de ciudad a ciudad, según el nivel de desarrollo económico, ubicación geográfica, clima y condiciones sociales [3].

Desde el punto de vista de la gestión sostenible de los residuos es primordial la reducción de la generación de residuos y el reciclaje, puesto que ambas alternativas son beneficiosas en términos de reducción de emisiones gaseosas de efecto invernadero (GEI), sin embargo, algunos residuos como los de origen orgánico (biorresiduos) no son adecuados para su reciclaje [4].

Para estos residuos, la recuperación de energía, se vuelve esencial, ya que contribuye a reducir el uso de combustibles fósiles y los problemas ambientales y sanitarios de eliminación de residuos.

Con la presente investigación se pretende aportar elementos para mejorar los procesos de toma de decisión en materia de conversión de residuos en energía a partir de la fracción orgánica de éstos. Además, estudiar el impacto ambiental de la generación de energía eléctrica a partir de los RSU.

### II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las proyecciones de Naciones Unidas sobre el crecimiento de la población mundial, afirma que la actual estimada en 7.000 millones, aumentará en mil millones para el 2025 [5]. Debido a esto, el mundo quintuplicará la generación de residuos per cápita, lo que representaría riesgos para la salud y el medio ambiente [6] y en muchos casos el cierre de los rellenos que exceden su capacidad y por consiguiente, una demanda incesante en materia de nuevos sitios para la

disposición final de estos residuos [7]. En ese sentido, resulta relevante encontrar un uso adecuado y sostenible de los RSU.

Entre las tecnologías de recuperación de energía a partir de residuos que existen, la conversión biológica efectuada por bacterias mediante el proceso de digestión anaerobia, es una opción por tratarse de una fuente de energía renovable. Adicionalmente, el biogás que se genera a partir de residuos orgánicos sometidos al proceso anterior, tiene un alto contenido de metano, lo que le confiere un valor energético y además el residuo de la digestión es un buen fertilizante agrícola [8].

En Colombia, se generan aproximadamente 21.000 ton/día de residuos sólidos procedentes de las actividades residenciales, comerciales e institucionales con un porcentaje de material orgánico del 56,4 % [9]. La ciudad Santiago de Cali es la tercera en Colombia con mayor cantidad de residuos sólidos presentados al servicio público de aseo [10] con una población de 2'294.643 habitantes en el año 2012 generó aproximadamente 615.411 toneladas de residuos sólidos (RS) [11] dispuestos en un relleno sanitario de carácter regional en el municipio de Yotoco, el cual comparte con otros 16 municipios de la región [12]. Con los datos de la población de la zona urbana de Santiago

de Cali y los RS se estimó que la producción per cápita (PPC) en la zona urbana, tuvo un valor de 0,74 kg/día-habitante

Con base en lo anterior, resulta importante el desarrollo de una metodología que permita analizar las interacciones y el comportamiento de los factores involucrados en el proceso de generación de energía eléctrica a partir del componente orgánico de los RSU, como un problema complejo y dinámico.

### III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema comprende desde el consumo de recursos, que está ligado al crecimiento económico (PIB) y el consumismo de la población en la zona urbana, constituyendo así una creciente generación de residuos. Esta generación se clasifica en los residuos que son adecuados para su reciclaje, Biorresiduos, los cuales se disponen para generar biogás y los Residuos no Aprovechados, que van al relleno sanitario debido a que no es posible tratarlos o aprovecharlos.

La problemática planteada, conlleva principalmente a emisiones de gases efecto invernadero más elevadas y a una reducción de la vida útil de los rellenos sanitarios, que de exceder su capacidad demandarían la construcción de nuevos sitios.

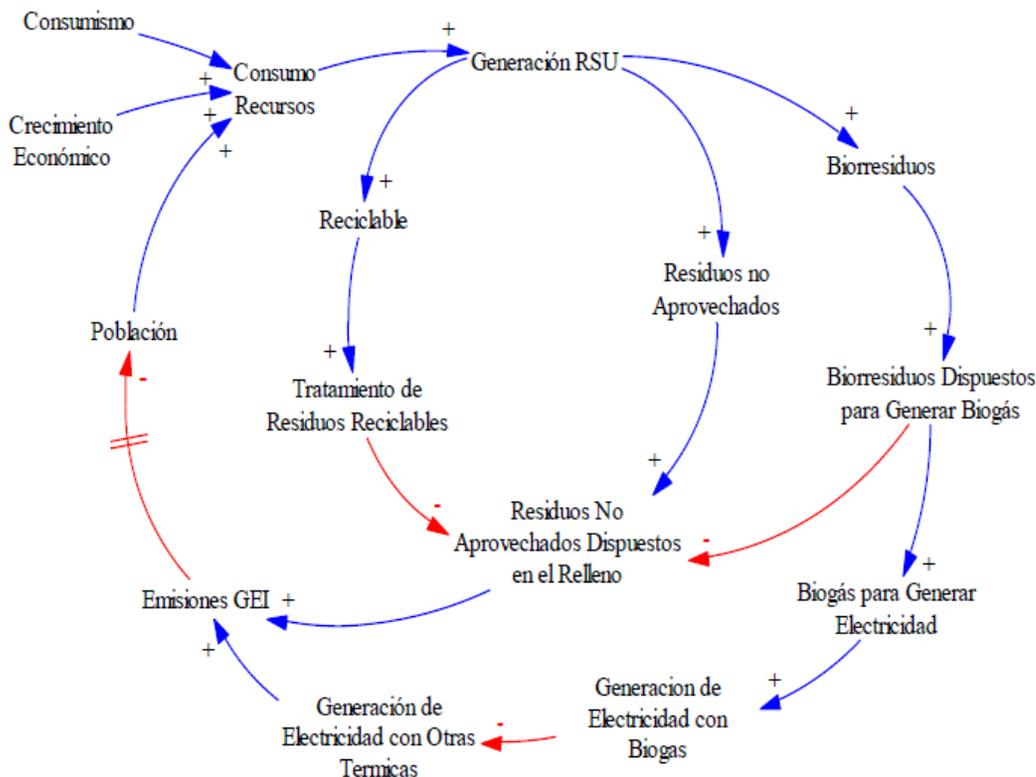


Figura 1. Diagrama de influencias

El sistema está representado mediante el diagrama que se observa en la Fig. 1, donde se ilustran los principales factores asociados y las relaciones causales existentes en la problemática que se estudia. En el diagrama de la Fig. 1, se pueden observar cuatro bucles, uno de compensación y tres de refuerzo.

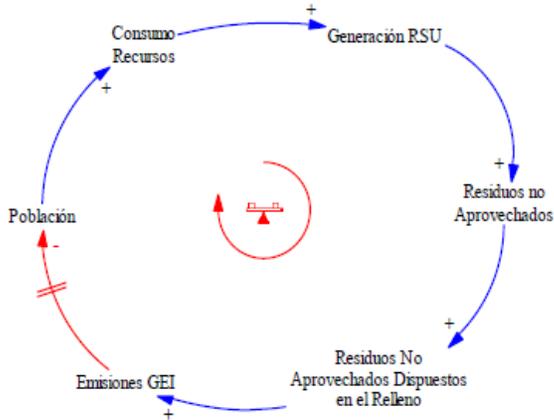


Figura 2. Bucle de compensación.

El bucle de compensación relaciona la población que consume los recursos y genera los residuos, de los cuales, aquellos no aprovechables son dispuestos en el relleno liberando a la atmósfera emisiones de GEI, que a largo plazo afectan el crecimiento de la población.

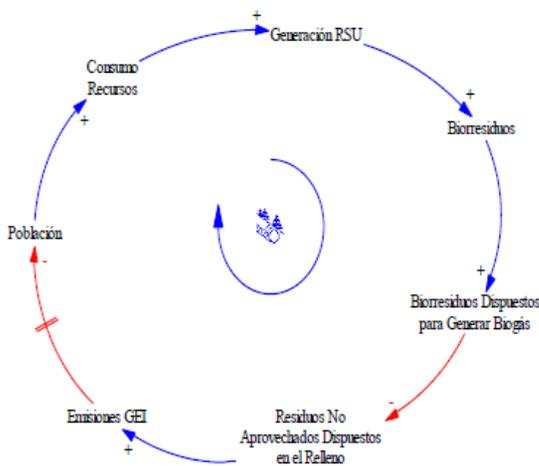


Figura 3. Bucle de refuerzo 1.

El bucle de refuerzo 1, involucra la relación entre la población que consume los recursos y genera los residuos. De los cuales, aquellos que poseen un componente orgánico, también conocidos como Biorresiduos, son dispuestos para generar biogás, con el fin de reducir eventualmente los residuos no aprovechados que van al relleno.

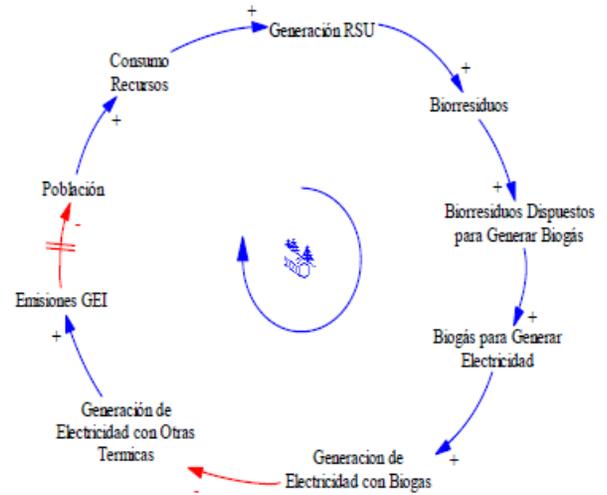


Figura 4. Bucle de refuerzo 2.

El bucle de refuerzo 2, representa la relación entre la población que consume los recursos y genera los residuos. De los cuales, aquellos que poseen un componente orgánico, también conocidos como Biorresiduos, son dispuestos para generar biogás, que posteriormente es procesado para generar electricidad y contribuir a la reducción del uso de energía eléctrica generada por otras térmicas, puesto que éstas, son las principales difusoras de emisiones de GEI, que con el tiempo afectan al crecimiento de la población.

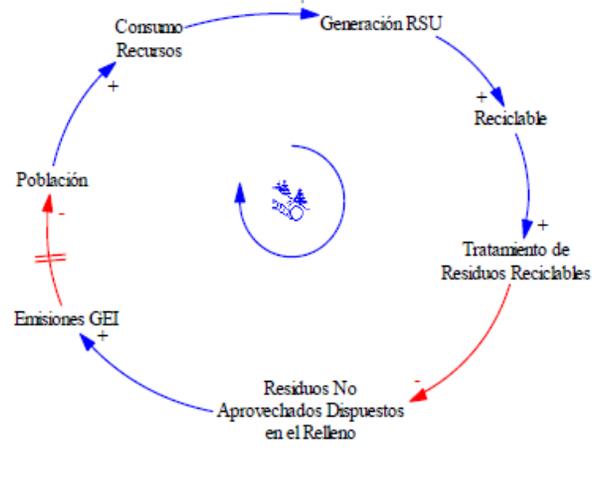


Figura 5. Bucle de refuerzo 3.

El bucle de refuerzo 3, representa la relación entre la población que consume los recursos y genera los residuos. De los cuales, aquellos que son adecuados para su reciclaje, se tratan según sea el caso y se reincorporan a la cadena productiva, disminuyendo así los residuos dispuestos en el relleno que no se aprovecharon y las emisiones de GEI que son liberadas al ambiente, afectando a largo plazo el crecimiento de la población.

## IV. DIAGRAMA DE FORRESTER

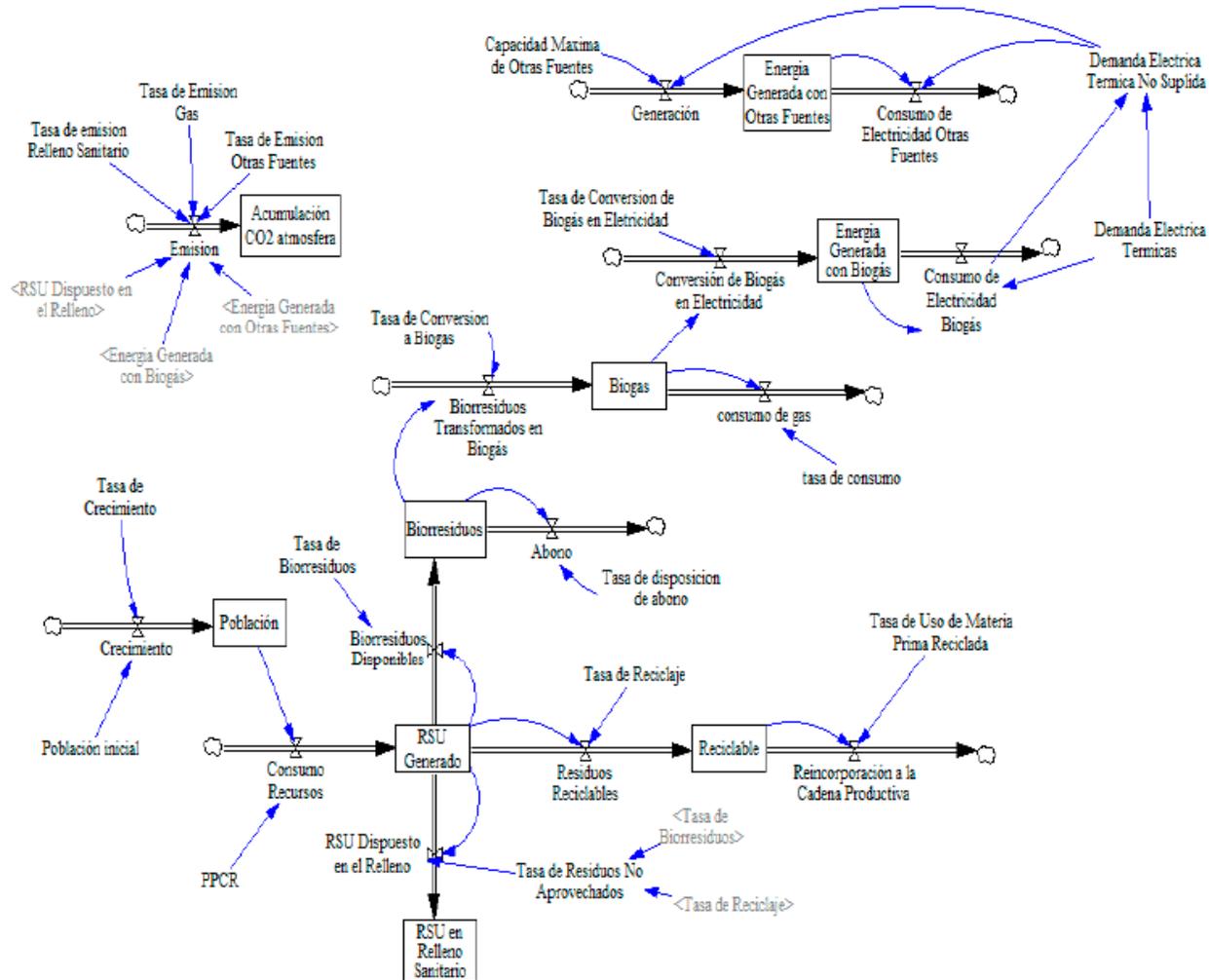


Figura 6. Diagrama de Forrester.

El modelo inicia con la variable de nivel población que está asociada a un valor inicial y a la tasa de crecimiento de la ciudad de Santiago de Cali. La generación de RSU se define en función del parámetro producción per cápita de residuos (PPCR) y está clasificada en biorresiduos que se convierten en biogás y el subproducto en abono, reciclables que son reincorporado a la cadena productiva y No aprovechables (No aprovechables = RSU generados – biorresiduos – reciclables), es decir, aquellos no reciclables y que no poseen un componente orgánico, por ende son dispuestos en el relleno sanitario. El biogás resultante del proceso es usado como combustible para generar electricidad. En Colombia la demanda de energía eléctrica es suplida principalmente por fuentes hídricas y en segundo lugar por fuentes térmicas, esta última es representada en el modelo como demanda eléctrica térmica que en primera

instancia se suplirá con la energía generada con biogás y aquella fracción que ésta no supe será atendida por las demás fuentes térmicas.

La acumulación de CO2 a la atmosfera está definida en kilogramos de CO2 por tonelada de RSU en el Relleno Sanitario y por gigavatios hora de la generación de electricidad a partir de biogás y las otras fuentes térmicas.

## V. METODOLOGIA

Como metodología se implementó la sugerida por Aracil y Gordillo en su libro Dinámica de Sistemas, que consta de una familiarización con el problema que se estudia e identificación del sistema y sus partes, Construcción del diagrama de Forrester y Evaluación del modelo a sometiéndolo a varios criterios de aceptación.

El sistema se modeló mediante Vensim DSS, a partir del diagrama causal de la figura 1, obteniendo el diagrama de Forrester de la figura 6, al cual se le asignaron valores a los parámetros y se formularon las ecuaciones pertinentes para que el modelo en primera instancia se comportara de manera que se ajuste a la realidad. Una vez obtenido esto, se procedió a plantear un escenario donde se generará electricidad a partir de los RSU de la ciudad de Santiago de Cali, estableciendo un horizonte de tiempo de 100 años.

### VI. RESULTADOS.

A continuación se presentan las gráficas:

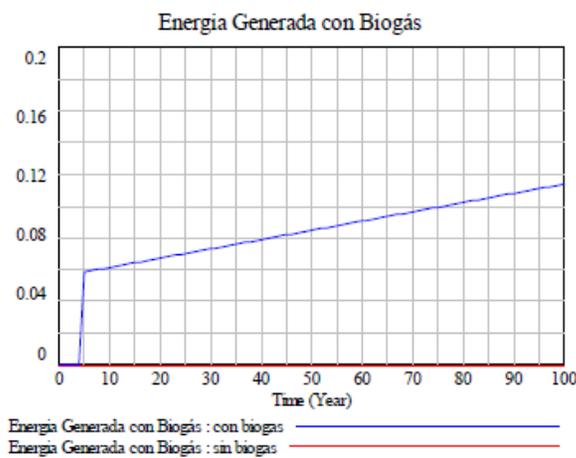


Figura 7. Generación de energía eléctrica por biogás a partir del componente orgánico (biorresiduos) de los RSU.

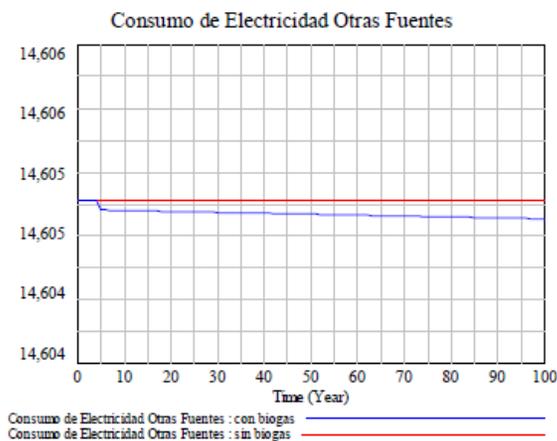


Figura 8. Energía generada con otras fuentes térmicas no amigables con el medio ambiente, tomando como primera opción la electricidad generada con biogás y como segunda las otras fuentes no renovables. Energía eléctrica generada con otras fuentes sin la generación de electricidad con biogás.

En la Fig. 7 se muestra como la generación de energía con biogás crece con el tiempo debido a que la población y los residuos también lo hacen sólidos, a su vez aumentan los biorresiduos que son usados para generar el biogás.

Por otra parte, la Fig. 8, muestra como el consumo de electricidad generada con otras fuentes disminuye, esto se debe a que se planteó que primero se debe suplir la demanda de electricidad de las fuentes no renovables, con la energía generada con biogás, o sea que a medida que aumente la generación con biogás se desistirá de consumir un fracción de la generación de otras fuentes de generación. Por último la línea roja, el consumo de electricidad de otras fuentes, es constante debido a que no se tiene en cuenta la generación de electricidad con biogás, o sea se asume que esta es igual a cero.

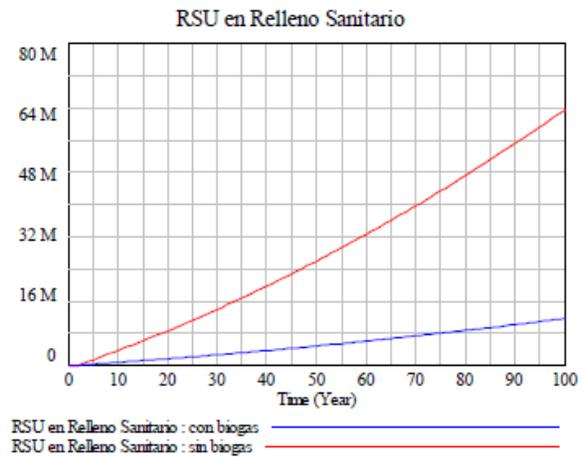


Figura 9. RSU en relleno sanitario teniendo en cuenta la generación de electricidad con biogás y sin separar los residuos orgánicos (biorresiduos) o sea, solo reciclando y dejando el restante en el relleno sanitario.

Al comparar las líneas azul y roja se observa que al dejar de generar electricidad con los biorresiduos, los residuos en el relleno sanitario se acrecientan. En ese sentido, generar electricidad con biogás, prolonga la vida útil del relleno. Por otro lado, la contaminación debido a estos residuos que se disponen en el relleno porque no son aprovechables, sería reuducida.

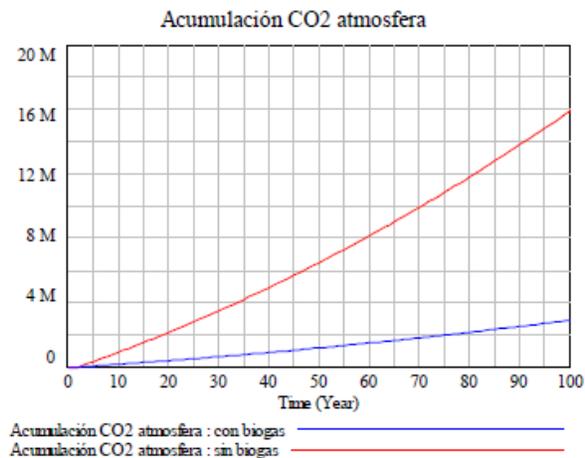


Figura 10. Acumulación de CO2 en la atmósfera generando energía eléctrica a través del componente orgánico de los RSU. Y Acumulación de CO2 en la atmósfera sin generando energía eléctrica a partir del componente orgánico de los RSU.

Comparando las líneas azul y roja, se observa que cuando se genera energía eléctrica con biogás, el acumulativo de CO2 en la atmósfera es menor que cuando no se genera, por lo tanto, la opción de generar electricidad a partir del componente orgánico de los RSU es viable, si el objetivo es disminuir la contaminación que estos ocasionan al ser dispuestos en el relleno sanitario.

## VII. CONCLUSIONES

La generación de electricidad con biogás es una opción viable siempre y cuando se realice de manera segura y eficiente, de lo contrario podrían cambiar los resultados de la simulación.

Sustituir la generación de electricidad con otras fuentes térmicas por electricidad a partir de biogás, disminuye el nivel de emisiones de CO2 en la atmósfera.

La reducción de los Residuos Sólidos dispuestos en el relleno sanitario y por ende el incremento en la vida útil de éste, también está influenciada por el reciclaje. Por lo anterior, considerar programas efectivos para el reciclaje, es un elemento que potenciará el resultado de esta propuesta.

Otro aspecto importante que contribuirá con el éxito de la alternativa presentada, es la separación de los Residuos Sólidos Urbanos en la fuente; dado que si dicha separación no se realiza, deberá considerarse un elemento más en el sistema, que correspondería a una planta de separación de residuos.

## REFERENCIAS

- [1] S. Teixeira, E. Monteiro, V. Silva, and A. Rouboa, "Prospective application of municipal solid wastes for energy production in Portugal," *Energy Policy*, vol. 71, pp. 159–168, Aug. 2014.
- [2] J. Jaramillo, "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales," Lima, Perú, 2002.
- [3] M. a. Sufian and B. K. Bala, "Modelling of electrical energy recovery from urban solid waste system: The case of Dhaka city," *Renew. Energy*, vol. 31, no. 10, pp. 1573–1580, Aug. 2006.
- [4] C. Ryu, "Potential of Municipal Solid Waste for Renewable Energy Production and Reduction of Greenhouse Gas Emissions in South Korea," *J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 60, no. 2, pp. 176–183, Feb. 2010.
- [5] S. de N. de las N. Unidas, "UCentro de noticias de la ONU en español - La población mundial crecerá en mil millones en la próxima década," 2013. .
- [6] F. Zorrilla, "Conociendo a Dios a través de la Ciencia": " Realidades que debes saber." Palibrio, 2011, p. 322.
- [7] GREENPEACE, "Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: viejos riesgos y ninguna solución," 2011.
- [8] F. M. Hernández, Tratamiento de residuos y generación de energía renovable en el sector industrial: Producción de biogás con suero de queso como sustrato. Francisco M. Hernández, 2014, p. 44.
- [9] H. H. Herrera, "Generacion de energia a traves de biogás en colombia," Universidade Federal da Integração Latino Americana, 2013.
- [10] "TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE."
- [11] G. Escobar Morales, "Cali en cifras," Cali Dep. Adm. Planeación, 2013.
- [12] L. A. Rodríguez and C. X. Ramos Hidalgo, "Disposición Final de Residuos Sólidos en Colombia 2013," Bogotá, DC., 2013.

## 61. EVALUACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

**DANNY WALDIR IBARRA VEGA**

Universidad Sergio Arboleda, Universidad Nacional de Colombia  
ingdanny09@hotmail.com

**GERARD OLIVAR**

Universidad Nacional de Colombia  
golivart@unal.edu.co

**JOHAN MANUEL REDONDO**

Universidad ECCI - Colombia  
galileonp@hotmail.com

### RESUMEN

En este artículo se realizó, la construcción de un modelo que representa la cadena de suministro de bioetanol de caña de azúcar y la vinculación de algunos indicadores ambientales propuestos por la Asociación Mundial de Productores de Bioenergía (GBEP). Para esto se tuvo en cuenta las directrices de cómo medir estos indicadores en un mercado nacional. Esto se realizó bajo la Metodología de Dinámica de Sistemas la cual permita conocer el comportamiento prospectivo de estos indicadores bajo distintos escenarios de producción y así obtener resultados que determinen algunas estrategias claves a tener cuenta en el corto y mediano plazo de la ampliación de la capacidad instalada de producción de bioetanol de caña de azúcar en Colombia y la construcción en implementación de políticas de sostenibilidad para los biocombustibles en general.

**PALABRAS CLAVE:** Biocombustibles, medio ambiente, modelamiento, dinámica de sistemas.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles son considerados como una opción para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, incrementar la diversidad de la canasta energética, fuente de creación de trabajo y desarrollo rural [1]. Sin embargo, hay algunas preocupaciones sobre los posibles impactos directos e indirectos con respecto al cambio climático, la seguridad alimentaria, afectaciones ambientales y el desarrollo económico que aún son discutidas en distintos contextos [2].

Los biocombustibles más conocidos a nivel mundial son el bioetanol y el biodiesel.

El bioetanol es un tipo de biocombustible que puede ser utilizado de manera directa o como aditivo oxigenante de la gasolina [3]. Este se obtiene a partir de materias

primas ricas en azúcares fermentables como la caña de azúcar, el maíz y la remolacha azucarera.

En los últimos años la producción de bioetanol se ha incrementado a nivel mundial, debido a la implementación de medidas y políticas que incentivan su producción local [1].

En 2013 la producción global de etanol estuvo cerca de los 23.500 millones de galones, distribuidos en 13.300 millones de galones en EEUU, 6.267 millones de galones en Brasil, 1.371 millones de galones en Europa, 1.764 millones entre China, India y Canadá, y 727 millones de galones el resto del mundo [5].

En Colombia la producción de Bioetanol proviene de la caña de azúcar y la capacidad instalada de producción es de 1'250.000 litros/día [6]. A pesar de que el direccionamiento del gobierno nacional es seguir

umentando esta capacidad de producción, existe una incertidumbre sobre los verdaderos impactos ambientales, sociales y económicos que este incremento pudiera traer. Estos impactos generados en la producción de bioetanol, están asociados a distintas etapas de la cadena de suministro de bioetanol. Para la evaluación y monitoreo de estos impactos, la Asociación Mundial de Bioenergía (Global Bioenergy Partnership - GBEP) construyó un conjunto de indicadores que permiten a los países orientar una evaluación de la sostenibilidad en la producción de bioenergía que orienta una evaluación de la sostenibilidad en la producción de bioenergía.

## 2. SOSTENIBILIDAD DE BIOCOMBUSTIBLES

La producción sostenible de biocombustibles a partir de distintas materias primas ha tomado una mayor relevancia en el panorama del sector energético mundial, esto debido a que no existe un consenso sobre cuáles son las mejores estrategias y programas que deben ejecutarse para implementar, evaluar y monitorear el desarrollo sostenible en este sector.

Con relación al contexto Colombiano el estudio más importante que se había realizado para evaluar los impactos ambientales de los biocombustibles se hizo como requerimiento del sector privado y el gobierno nacional, este fue realizado por el Consorcio CUE 2012 [2], para esto utilizaron la herramienta Análisis de Ciclo de Vida y de acuerdo a esto los biocombustibles en Colombia se consideran ambientalmente amigables, sin embargo, este estudio no permite ver escenarios a futuro con respecto al incremento de la producción.

Valencia y Cardona [8] realizaron un análisis de la cadena de suministro de bioetanol y biodiesel en Colombia, teniendo en cuenta las dos materias primas usadas para cada uno en el país y el Algoritmo de Reducción de Residuos, más conocido como WAR que permite calcular el Potencial de Impacto Ambiental (PEI siglas en inglés). Con respecto al bioetanol de caña de azúcar la reducción de gases de efecto invernadero sería del 5 por ciento y el sistema de producción actual es considerado sostenible por la reducción de la toxicidad en humanos, la calidad de agua y el potencial de cambio climático entre otros.

### GBEP

La Asociación Mundial de Bioenergía (GBEP) ha desarrollado un conjunto veinticuatro indicadores para

la evaluación y monitoreo de la sostenibilidad de la bioenergía a niveles nacionales. Los indicadores GBEP pretenden informar a los responsables de formular políticas en los países, sobre los aspectos ambientales, sociales y económicos del sector de la bioenergía en sus países, así como guiarlos hacia políticas que fomenten el desarrollo sostenible.

## 3. METODOLOGÍA

Debido a la naturaleza dinámica de las cadenas de suministro y la complejidad que presenta el proceso productivo de bioetanol a partir de caña de azúcar, la modelación se percibe como un instrumento natural e importante para el análisis y diseño de cadenas de suministro y gestión de la cadena (Tako y Robinson, 2012; Verbraeck y Van Houten 2005). Dentro de las metodologías de modelamiento y simulación se encuentra la Dinámica de Sistemas, esta es una metodología para el análisis y resolución de problemas, la cual facilita el acercamiento al aprendizaje de sistemas complejos a través de modelos formales y métodos de simulación (Ramírez, 2010). Así mismo, permite la vinculación de variables externas cuantificables, lo cual es idóneo para la sostenibilidad en cadena de suministro, ya que permite la inclusión de variables ambientales y sociales.

La Dinámica de Sistemas es una metodología para el análisis y resolución de problemas, desarrollada por Jay Forrester y presentada en sus obras (Forrester, 1999a; 1999b). En Dinámica de Sistemas, se concibe cualquier aspecto del mundo como la interacción causal entre atributos que lo describen. De esta forma, se construyen representaciones sistémicas con flechas y puntos, denominadas diagramas causales, que capturan todas las hipótesis propuestas por el modelador (Redondo 2013).

## 4. EL MODELAMIENTO

Para este trabajo se realizó un modelamiento de la cadena de suministro de bioetanol de caña de azúcar como se presenta en la siguiente figura.

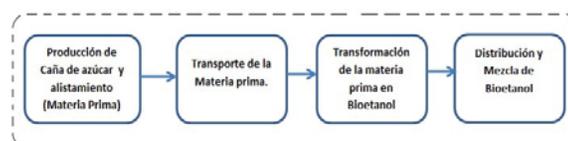


Figura 1. Modelo de la cadena de suministro de bioetanol de caña de azúcar



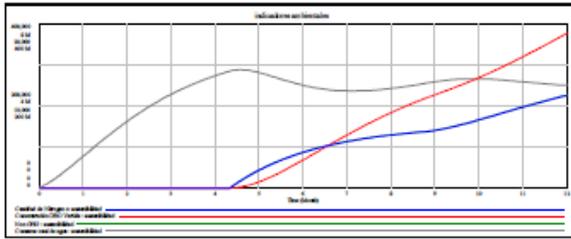


Figura 5. Simulación de los indicadores ambientales

En la figura 5 se observa la dinámica del comportamiento de los indicadores ambientales tomados en cuenta para este trabajo. Se observa el incremento del consumo de agua para cultivo, directamente relacionado con el incremento de hectáreas de caña sembradas. Las emisiones de gases no efecto invernadero (Non-GHG), asociados al alistamiento de la caña de azúcar para producción, es decir la quema de los cultivos para la obtención de materia prima lista para el proceso. Así mismo se observa el incremento de la cantidad de nitrógeno infiltrado al suelo por los fertilizantes del cultivo y el incremento de la DBO por los vertimientos de las vinazas, que son las aguas residuales generadas en la fermentación y destilación del mosto en el proceso de producción de bioetanol.

La interpretación de las simulaciones y establecimiento de escenarios deseados y no deseados para la evaluación de indicadores ambientales se realizará teniendo en cuenta el marco conceptual presentado en la sección 6.

## 6. EVALUACIÓN PROSPECTIVA PROPUESTA

Esta evaluación requiere los siguientes elementos:

Línea base, o estado inicial del sistema

$$x(0) \in \Omega \subseteq \mathbb{R}^n$$

Tiempo de evaluación  $t_e \in \mathbb{R}^{n+}$ . Es el tiempo cuando la evaluación de indicadores será realizada  
Escenarios tendenciales  $A = \{x \in \Omega \subseteq$

$$\mathbb{R}^n \mid a_i \leq x_i \leq b_i, i=1, \dots, n\}.$$

Los escenarios tendenciales particionan el espacio de estados, es decir  $A \cap A_j = \emptyset$  y  $\cup A_i = \Omega \subseteq \mathbb{R}^n$

Para futuros trabajos se plantean los siguientes escenarios:

1. Escenario desado AD
2. Escenario de alerta AA
3. Escenario no Deseado AN

Diremos que el sistema tiene los valores deseados desde un tiempo de evaluación  $t_e$  cuando  $\forall t \geq t_e$  se cumple  $x(t) \in A_D$

De esta forma, para evaluar:  $x(t_e) \in A_D$  Es decir el sistema cumple con los indicadores en el tiempo de evaluación  $t_e$ , pero es posible que desmejoren con el tiempo, como muestra la figura 6.

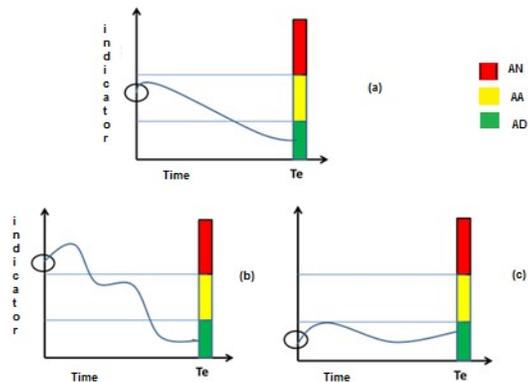


Figura 6. Evaluación prospectiva propuesta

## 7. CONCLUSIONES

En este documento se estableció un modelo de cadena suministro teórica, en el que se realizaron simulaciones con información tomada del sector real, a partir de esto se establecieron 4 indicadores ambientales establecidos por el GBEP para la producción de Bioenergía, esto permitió ver la relación existente y validez de estos indicadores para el sector de bioetanol en Colombia. De igual manera se estableció un marco de referencia para la evaluación de indicadores ambientales en la producción de biocombustibles que será utilizado en trabajos futuros.

## REFERENCIAS

- [1] Scarlat N., Dallemand J.F. (2011) Recent developments of biofuels/ bioenergy sustainability certification: a global overview. Energy Policy; 39(3), 1630-46
- [2] Valencia, M., Cardona, C.A. (2014) The Colombian biofuel supply chains: The assessment of current and promising scenarios based on environmental goals. Energy Policy 67 232242

- [3] Sánchez, O. (2008) Síntesis de Esquemas Tecnológicos Integrados Para la Producción Biotecnológica de Alcohol Carburante a Partir de Tres Materias Primas Colombianas. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Química Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- [4] RFA (2014) Renewable Fuels Association. World Fuel Ethanol Production <http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-Ethanol-Production>
- [5] Federación Nacional de Biocombustibles (2015). Cifras informativas del sector Biocombustibles: Etanol Anhidro de Caña. Federación nacional de Biocombustibles
- [6] Consorcio CUE, 2012. Capitulo II: Estudio ACV-Impacto Ambiental. In: Consorcio CUE, Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Minas y Energía, Medellín.
- [7] Tako, A. y Robinson, S. (2012) The Application of Discrete Event Simulation and System Dynamics in the Logistics and Supply Chain Context. Decision Support Systems, Vol. 52, No. 4, pp. 802-815.
- [8] Verbraeck, A. y Van Houten, S. (2005) Simulation to Gaming: an Object Oriented Supply Chain Training Library. In Proceedings of the Winter Simulation Conference. (pp. 2346-2354).
- [9] Ramírez, S. (2010). Modelización de una cadena de abastecimiento (supply chain) para el sector textil-confección en el entorno colombiano. Tesis de Maestría, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- [10] Forrester, J. Industrial Dynamics. Pegasus Communications. 1999a. 482 Pg. Inc. Waltham. ISBN 978-1614275336
- [11] Forrester, J. Urban Dynamics. Pegasus Communications. 1999b. 286 pg. Inc. Waltham. ISBN 978-0262060264
- [12] Redondo, J.M. (2013). Modelado de Mercados de Electricidad. Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales



### **63. SIMULACIÓN DE MECANISMOS DE INTEGRACIÓN EXTERNA EN LA CADENA AGROINDUSTRIAL DE MORA DE BOGOTÁ-CUNDINAMARCA. UNA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO LOGÍSTICO.**

#### **MECHANISMS INTEGRATION EXTERNAL SIMULATION IN THE AGROINDUSTRIAL CHAIN OF MORA DE BOGOTA-CUNDINAMARCA. A LOGISTICS PERFORMANCE EVALUATION.**

**ANDRÉS LEONARDO CAICEDO, ANDRÉS FELIPE RUIZ**

Ingenieros Industriales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C. – Colombia.  
afruizm@correo.udistrital.edu.co; mr\_ruiz\_92@hotmail.com

**JAVIER ARTURO ORJUELA CASTRO**

Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Líder del grupo de Investigación GICALyT.  
jorjuela@udistrital.edu.co

#### **RESUMEN**

La integración de la Cadena de Suministro se considera una estrategia fundamental para mejorar su desempeño; no obstante, dado que la relación existente entre la integración y el desempeño de la Cadena de Suministro (CS) no está definida en su totalidad, es un tema amplio de investigación y más aún en CS agroindustriales, cuyas características inherentes representan retos específicos de gestión. Este artículo presenta un modelo de simulación en Dinámica de Sistemas desarrollado con el objetivo de alcanzar una mejor comprensión del efecto que tienen los mecanismos de integración externa (Intercambio de información, contratos y VMI), en el desempeño logístico (transporte, inventario, faltantes, cumplimiento de la demanda y pérdidas de producto) de la CS agroindustrial de mora de Bogotá–Cundinamarca. Los indicadores de desempeño logístico se midieron por cada actor (agricultor, distribuidor, agroindustria y punto de venta) en los flujos de fruta fresca y producto procesado, y a nivel de toda la cadena. Cada mecanismo incide de manera diferente; existen sectores que se benefician más que otros, así como existen eslabones que se perjudican en determinadas medidas de desempeño gracias al uso de los mecanismos de integración.

**PALABRAS CLAVE:** Cadena de suministro, Dinámica de Sistemas, Desempeño Logístico, Integración, Mora.

#### **ABSTRACT**

This paper presents a system dynamics model designed to achieve a better understanding of the effect of external integration mechanisms (VMI, Contracts and information sharing) on the agrifood supply chain's logistic performance (transport, inventory, backlogs, demand accomplishment and missed product), and it is applied to the case study of the blackberry agrifood supply chain of BogotáCundinamarca. The considered performance indicators were measured for each echelon (farmer, distributor, agribusiness and point of sale) in the flows of fresh fruit and processed products, and at the wide chain. Each mechanism affects differently the chain; results indicate that all of them reduce the fruit inventory and fruit lost, however, information sharing improve best supply chain performance indicators. Besides, in concordance with scientific literature, there were actors that got more benefits and some of them were adversely affected in certain performance indicators.

**KEYWORDS:** supply chain, system dynamics, logistics performance, integration.

## I. INTRODUCCIÓN

En la literatura especializada, se considera a la integración como una estrategia fundamental para mejorar el desempeño de la Cadena de Suministro (CS); no obstante, la relación existente entre la integración y el desempeño de la CS no está definida en su totalidad, por lo que es considerado un tema amplio de investigación y más aún en CS agroindustriales, cuyas características inherentes representan retos importantes para su gestión. En los 80 surgen las primeras definiciones de integración [1].

La caracterización del sector frutícola muestra como problemas de las cadenas agroindustriales de frutas la falta de integración entre sus actores [2]. Este Artículo estudia el efecto de los diferentes mecanismos de integración externa en Cadena de Suministro de Mora, se usa el enfoque de dinámica de sistemas en Bogotá-Cundinamarca, aportar al entendimiento de la relación entre el desempeño logístico y la integración de los agentes en CS no convencionales. Este artículo toma relevancia en la medida en que son pocos los trabajos encontrados que abordan este tema en el marco de CS de productos perecederos mediante herramientas de simulación y más pocos aun aquellos que consideran el estudio de más de un mecanismo.

## II. INTEGRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS

La integración en la CS se logra cuando la empresa colabora en la gestión de procesos intra e interorganizacionales con los demás miembros de la CS, Busca ser más eficiente en la cadena y ofertar el máximo valor a los consumidores [3]. Los conceptos de cooperación, coordinación y colaboración son complementarios entre sí y son utilizados en el contexto de la CS para describir los esfuerzos de integración entre los actores que buscan mejorar la eficiencia global de la CS. En este trabajo se asume esta complementariedad de los términos, considerando que todos siguen el propósito de integrar los actores de la CS.

En cadenas agroindustriales, la integración se ve impulsada gracias factores tecnológicos, regulatorios y financieros, así como por consumidores cada vez más exigentes con la calidad y seguridad de los productos alimenticios [4]. Estos cambios han alterado el contexto actual de los agentes que componen estas cadenas, fomentando la integración entre los mismos [5].

En la literatura se distinguen dos tipos de integración: la externa e interna [6, 7, 8, 9, 10]. La integración interna considera que los departamentos y funciones dentro de una empresa deben funcionar como parte de un proceso integrado, por otro lado, la integración externa, reconoce la importancia de establecer relaciones entre clientes y proveedores [11]. Ambas perspectivas son importantes para permitir que los miembros de la CS actúen de manera concertada y puedan maximizar el valor de la CS [3].

### A. MECANISMOS DE INTEGRACIÓN EXTERNA

En este trabajo se adopta la clasificación usada en [12], donde los mecanismos se dividen en: Contratos [13], Toma de decisiones conjunta [12], [14] e Intercambio de información [15], [16].

## III. CADENA AGROINDUSTRIAL DE MORA EN BOGOTÁ, CUNDINAMARCA.

La mora en Colombia es una de las frutas con mayor potencial debido a su rendimiento, áreas sembradas, producción e impacto en los consumidores nacionales e internacionales [17]. La mora se caracteriza por ser una fruta transitoria cuya producción varía en ciertas temporadas del año, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1. Estacionalidad de la mora en Colombia

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
6,7%	8,2%	9,3%	10,1%	8,8%	7,9%
Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
7,8%	7,9%	8,2%	8,6%	9,2%	7,3%

Fuente: los autores a partir de [18].

La producción de mora en el Departamento de Cundinamarca representa el 24,2% del total de productores en Colombia [2] [18]. En Cundinamarca, los municipios de San Bernardo y Arbeláez concentran más del 50% de la producción, la cual gran parte es destinada al mercado de Bogotá D.C y la agroindustrial para la fabricación de jugos, conservas, compotas, néctares y concentrado [19].

## IV. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

### A. USO DE SOFTWARE

El software de simulación utilizado fue iThink 9.1.3, en él se modeló la cadena agroindustrial y los diferentes escenarios de integración. Para determinar bajo qué distribuciones de probabilidad se comportaban el consumo per cápita y el rendimiento por hectárea sembrada de mora, se usó el software IBM SPSS

Statistics para el análisis de la información histórica. Finalmente, para tabulación y comparación de resultados del modelo, se usó Microsoft Excel 2013.

**B. MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO LOGÍSTICO**

A través del tiempo Se han adoptado diferentes enfoques para medir el desempeño. En [20] se desarrolla un modelo para medir el desempeño de cadenas agrícolas y de alimentos basado en cuatro categorías eficiencia, flexibilidad, capacidad de respuesta y calidad

En lo que se refiere al desempeño logístico, en [21] se plantea una metodología para el diagnóstico logístico de CS Agroindustriales, la cual contempla dos categorías de análisis, modos (Procesos de Gestión) y Medios (Recursos). En los medios incluye sistemas de información, embalaje, almacén, transporte e infraestructura, mientras en los modos comprende los procesos de aprovisionamiento, inventarios y distribución.

**V. MODELO EN DINÁMICA DE SISTEMAS**

**A. DATOS DE ENTRADA**

Para la aplicación del modelo en el caso de estudio, se consultaron investigaciones específicas de mora en Cundinamarca [17] [18] [19]. Se consultaron informes y reportes de AGRONET, FAOSTAT y Asohofrucol referentes a la mora, así como documentos complementarios del DANE y la caracterización logística de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola [2]. A partir de la información se definió la estructura de la CS agroindustrial de mora en Bogotá-Cundinamarca, capacidades de transporte, tiempos de tránsito entre sectores, tiempos de carga y descarga de mora y producto procesado, consumos per cápita de mora y pulpa de mora, población consumidora junto con sus tasas de nacimiento y muerte, pérdidas de fruta en cosecha y pos cosecha; producción, hectáreas y rendimiento de la producción de mora en Cundinamarca, entre otros. Para el modelo respecto a la integración se evalúan los contratos, el intercambio de la información y la toma de decisiones conjunta como los principales mecanismos de integración externa, mientras que para la medición del desempeño logístico se tomó bajo consideración la satisfacción de la demanda, la cantidad de faltantes y por último, el nivel de inventarios y pérdidas de fruta, tanto en almacén como en transporte.

**B. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El estudio evalúa el efecto que tienen los mecanismos de integración externa en el desempeño logístico de cadenas de suministro de mora. La hipótesis dinámica planteada es: la integración externa de la CS de mora por medio del intercambio de información, contratos o toma de decisiones conjunta (VMI), afectará positivamente el desempeño logístico de toda la CS agroindustrial de mora pero no todos los sectores percibirán mejoras en su desempeño logístico.

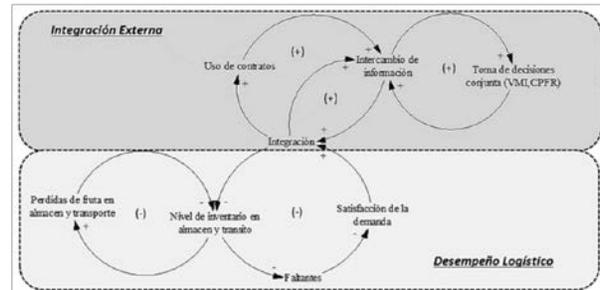


Figura 1. Diagrama causal del Problema de Investigación Fuente: los autores.

En la Figura 1, se presenta la dinámica de la integración y el desempeño logístico. En este diagrama causal, se presentan dos sectores. La integración externa contempla tres diagramas de refuerzo positivo, mientras en el desempeño logístico los dos son bucles de realimentación negativa.

**C. DIAGRAMA DE FORRESTER**

La estructura de la CS Agroindustrial de Mora en Bogotá- Cundinamarca está compuesta por exportadores, agricultores, agroindustria, distribuidores, puntos de venta y consumidores, tal como se muestra en la Figura 2, donde existen flujos de material, que para este caso son de fruta fresca (mora) y fruta procesada (Pulpa de mora) y flujos de información.

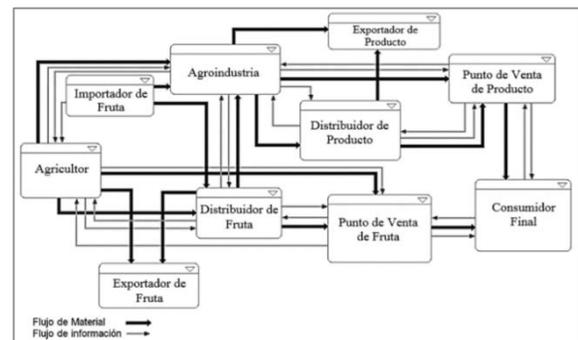


Figura 2. Estructura de la CS Agroindustrial de mora Fuente: los autores

## D. ESTRUCTURAS FUNDAMENTALES DEL MODELO

Los pasos seguidos para la simulación se basaron en las etapas de propuestas por [22]. El modelo de dinámica de sistemas tiene estructuras fundamentales que están presentes en todos los sectores. Estas estructuras son la generación de órdenes y los indicadores de desempeño logístico de la CS. El modelo se diseñó de manera general para que pudiera ser aplicado a cualquier CS agroindustrial.

### 1) Escenarios de Integración

El efecto de la integración en la cadena agroindustrial de mora, se realizó mediante simulaciones de diferentes escenarios de integración. Los mecanismos que se sometieron a prueba fueron el intercambio de información, el uso de contratos y la toma de decisiones colaborativa por medio del VMI. A continuación se describen los escenarios planteados.

**Escenario 1. Cadena sin mecanismos de integración:** En este escenario los eslabones no comparten información entre sí, no usan contratos ni toman decisiones de forma colaborativa. Las órdenes que envía un eslabón a su proveedor aguas arriba es la única información que se intercambia; esta orden del eslabón se genera basada en el estado actual del inventario, los faltantes incurridos y el comportamiento histórico de las órdenes del cliente del eslabón. El eslabón Agricultor es diferente, ya que está actúa con un comportamiento PUSH, envía toda la fruta que tenga disponible dividiéndola porcentualmente entre sus cuatro posibles clientes (Agroindustria, Distribuidor de fruta, Exportador de fruta y Punto de Venta de fruta).

**Escenario 2. Intercambio de información:** Todos los eslabones conocen el comportamiento de la demanda del consumidor final y utilizan esta información para generar la orden a su eslabón siguiente aguas arriba. Se tiene acceso a información real del comportamiento de la demanda del consumidor en el eslabón Punto de Venta, además cada eslabón conoce el estado del inventario de los demás eslabones que se encuentran aguas abajo de él, utiliza esta información para generar las órdenes a sus Proveedores. Esto permite una generación de órdenes más precisa y permite disminuir los niveles de inventario en la cadena.

**Escenario 3. Uso de Contratos:** El efecto del mecanismo genera un envío variable que depende de las órdenes deseadas de cada sector y del tiempo

pactado entre las partes para su correspondiente entrega. Para esto, se planteó un parámetro llamado "Periodo de contrato para fruta", cuyo valor es de 6 meses (180 días) ya que la fruta considerada en la aplicación del modelo es la mora, la cual tiene 2 temporadas altas al año; además, los datos fácticos mostraron que algunos clientes compran la cosecha más no cantidades fijas, debido a que los productos agrícolas están sujetos a variables como el clima, plagas, enfermedades. El parámetro "Periodo de Contrato para Producto" se definió con un valor de 3 años.

**Escenario 4. Uso de VMI:** La aplicación se hizo solo en los sectores que manejan producto procesado debido a que no presenta las barreras de los productos perecederos como lo son la estacionalidad, las condiciones climáticas y almacenamiento especial. Las relaciones que tienen este mecanismo son Agroindustria-Distribuidor, Agroindustria- Punto de Venta y Distribuidor - Punto de Venta. En este escenario se supone que los sectores establecen un acuerdo en donde el cliente comparte información acerca de sus niveles de inventario y ventas esperadas para que el agente aguas arriba decida cuanto es lo que tiene que reabastecer de pulpa de mora.

## VI. EXPERIMENTACIÓN

El diseño experimental de esta investigación sigue los pasos de [23], en la cual realiza 5 simulaciones por cada escenario de integración, utilizando en cada simulación un valor semilla diferente, que en este caso son 1, 2, 3, 4 y 5. El tiempo de simulación es de 10 años, es decir 3.650 días, ya que se quiere evaluar el efecto de la integración a largo plazo, y se usa un  $DT=0.25$ , donde la unidad de tiempo son días. Por cada variable respuesta se comparan los escenarios sin integración, intercambio de la información, VMI y contratos. Esta comparación se hizo por sector y para toda la cadena agroindustrial, tanto para su componente de fruta fresca como para el producto procesado. Las medidas de desempeño consideradas se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Variables Respuesta, medidas de desempeño y sus unidades

Variable respuesta	Medida de Desempeño	unidades
Inventario de fruta y producto	Nivel de inventario promedio	ton/día
Transporte de fruta y producto	Transporte promedio	ton/día
Faltantes de fruta y producto	Faltantes promedio	ton/día
Pérdidas de fruta	Pérdidas promedio de fruta	ton/día
Cumplimiento de la demanda de fruta y producto	Cumplimiento promedio de la demanda	ventas Demanda

Fuente: los autores.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los faltantes promedios para la mora y pulpa de mora se muestran en la Tabla 3 y Tabla 6 respectivamente, donde se puede identificar el sector más beneficiado o perjudicado por la integración externa y los efectos positivos o negativos para la cadena como un todo en lo que a faltantes se refiere.

En el escenario de intercambio de información, el eslabón más beneficiado en cuanto a la reducción de los faltantes de fruta es el Punto de Venta, pues en las cinco simulaciones se logró una reducción máxima del 71,78% y una reducción promedio de 62,68%, al pasar de 6.665,68 toneladas promedio por día, a 2.487,90. El Agricultor es el eslabón que menos se ve afectado por el intercambio de información. Sus niveles de faltantes disminuyeron en promedio un 4,29%. Por último, se registra una reducción promedio del 8,74% en los faltantes totales de fruta de la cadena. Un análisis similar al anterior se realiza para el transporte, los niveles de inventario y las pérdidas de fruta.

cosechas estacionales de la fruta en cuestión. Todas las medidas de desempeño tienen un análisis similar, donde se puede ver gráficamente su comportamiento a través del tiempo y el comportamiento de su valor promedio

Tabla 3. Faltantes promedio de mora para los escenarios.

VALOR SEMILLA	MORA				PULPA DE MORA				
	AGRICULTOR	DISTRIBUIDOR	PUNTO DE VENTA	CADENA	AGROINDUSTRIA	DISTRIBUIDOR	PUNTO DE VENTA	CADENA	
1	72.415,23	53.506,95	5.624,60	131.546,78	67.470,59	309,07	628,11	68.407,77	
2	73.494,92	54.311,97	6.622,08	134.428,96	68.086,98	532,42	1.074,79	69.694,19	
3	73.280,61	54.126,79	6.478,33	133.885,73	67.896,82	455,03	920,01	69.271,86	
4	74.504,11	54.820,78	7.351,21	136.676,10	68.310,95	629,93	1.269,89	70.210,77	
5	74.336,91	54.760,13	7.252,20	136.349,28	68.319,44	630,23	1.270,39	70.220,06	
Prom	73.606,36	54.305,31	6.665,68	134.577,35	68.016,96	511,34	1.032,64	69.560,93	
<b>ESCENARIO DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN</b>									
1	69.980,03	49.369,96	1.587,43	120.937,42	66.227,77	39,73	52,85	66.320,35	
2	70.470,75	49.899,29	2.502,08	122.872,12	66.436,30	58,91	74,84	66.570,25	
3	70.405,41	49.825,50	2.330,15	122.561,06	66.421,32	47,05	62,69	66.531,06	
4	70.621,26	50.094,58	3.021,81	123.737,66	66.432,42	72,52	88,20	66.593,14	
5	70.785,27	50.218,19	2.998,05	123.981,49	66.594,02	45,91	60,59	66.700,52	
Prom	70.448,54	49.881,50	2.487,90	122.817,95	66.422,41	52,82	67,83	66.543,06	
<b>ESCENARIO VMI</b>									
1	71.676,59	52.983,14	5.624,60	130.294,27	66.854,03	311,96	634,45	67.799,49	
2	73.147,77	54.070,46	6.622,08	133.840,30	67.799,04	533,34	1.077,73	69.410,55	
3	73.013,03	53.940,71	6.478,33	133.432,08	67.675,33	456,00	923,59	69.055,55	
4	74.355,55	54.717,45	7.351,21	136.424,21	68.188,06	630,43	1.273,92	70.092,40	
5	74.249,04	54.699,10	7.252,20	136.200,34	68.147,71	631,18	1.273,83	70.152,72	
Prom	73.286,40	54.084,17	6.665,68	134.086,24	67.752,83	512,58	1.036,70	69.302,14	
<b>CONTRATOS</b>									
1	73.520,65	54.798,26	3.781,32	132.310,23	68.292,41	600,48	1.210,72	70.103,60	
2	74.309,13	55.209,37	5.445,53	134.964,02	68.705,48	788,33	1.586,27	71.080,08	
3	74.318,46	55.219,14	5.161,30	134.698,90	68.697,06	786,99	1.583,54	71.067,69	
4	75.378,03	55.717,45	6.320,70	137.416,18	68.988,94	920,22	1.849,90	71.759,06	
5	75.209,65	55.639,47	6.282,65	137.131,77	69.000,88	926,54	1.862,51	71.789,93	
Prom	74.547,18	55.316,74	5.998,30	135.282,22	68.736,95	804,51	1.618,59	71.160,07	

Fuente: los autores.

Tabla 4. Faltantes promedio de pulpa de mora para los escenarios.

VALOR SEMILLA	PULPA DE MORA			
	AGROINDUSTRIA	DISTRIBUIDOR	PUNTO DE VENTA	CADENA
1	67.470,59	309,07	628,11	68.407,77
2	68.086,98	532,42	1.074,79	69.694,19
3	67.896,82	455,03	920,01	69.271,86
4	68.310,95	629,93	1.269,89	70.210,77
5	68.319,44	630,23	1.270,39	70.220,06
Prom	68.016,96	511,34	1.032,64	69.560,93
<b>ESCENARIO DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN</b>				
1	66.227,77	39,73	52,85	66.320,35
2	66.436,30	58,91	74,84	66.570,25
3	66.421,32	47,05	62,69	66.531,06
4	66.432,42	72,52	88,20	66.593,14
5	66.594,02	45,91	60,59	66.700,52
Prom	66.422,41	52,82	67,83	66.543,06
<b>ESCENARIO VMI</b>				
1	66.854,03	311,96	634,45	67.799,49
2	67.799,04	533,34	1.077,73	69.410,55
3	67.675,33	456,00	923,59	69.055,55
4	68.188,06	630,43	1.273,92	70.092,40
5	68.247,71	631,18	1.273,83	70.152,72
Prom	67.752,83	512,58	1.036,70	69.302,14
<b>CONTRATOS</b>				
1	68.292,41	600,48	1.210,72	70.103,60
2	68.705,48	788,33	1.586,27	71.080,08
3	68.697,06	786,99	1.583,54	71.067,69
4	68.988,94	920,22	1.849,90	71.759,06
5	69.000,88	926,54	1.862,51	71.789,93
Prom	68.736,95	804,51	1.618,59	71.160,07

Fuente: los autores.

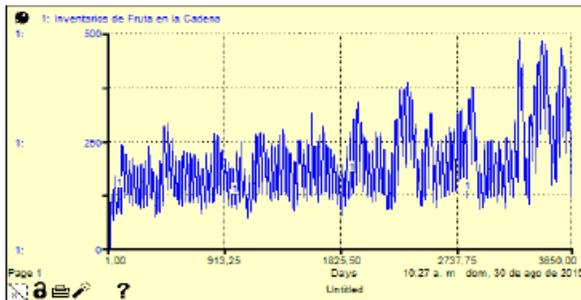


Figura 3. Comportamiento del inventario de fruta en la cadena para el escenario sin integración. Fuente: los autores.

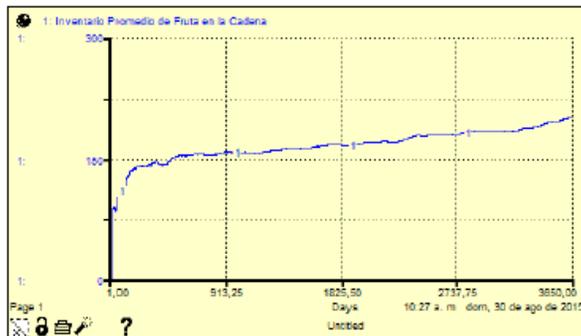


Figura 4. Comportamiento del inventario promedio de fruta en la cadena para el escenario sin integración. Fuente: los autores.

En la Figura 3 y Figura 4 se observa, respectivamente, el comportamiento del inventario de fruta y su promedio, en toda la cadena, para el escenario sin integración; puede observarse cómo este se comporta conforme las

El cumplimiento promedio de la demanda se midió para toda la CS Agroindustrial de mora, tanto para el consumo de fruta fresca como para el consumo de producto procesado. En la Tabla 5 se muestran los resultados.

Tabla 5. Cumplimiento promedio de la demanda de mora y pulpa de mora para los escenarios

ESCENARIO	VARIABLE RESPUESTA	MORA	
		VALOR SEMILLA	PULPA DE MORA
SIN INTEGRACION	1	87,98%	87,01%
	2	87,25%	86,46%
	3	87,33%	86,72%
	4	86,97%	86,47%
	5	86,73%	86,29%
	Prom	87,25%	86,59%
INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	1	92,66%	85,94%
	2	92,01%	85,19%
	3	91,95%	85,68%
	4	91,72%	85,49%
	5	91,60%	84,99%
	Prom	91,99%	85,46%
VMI	1	87,98%	87,04%
	2	87,25%	86,47%
	3	87,33%	86,74%
	4	86,97%	86,47%
	5	86,13%	86,31%
	Prom	87,13%	86,61%
CONTRATOS	1	88,41%	87,07%
	2	87,52%	86,32%
	3	87,63%	86,26%
	4	87,22%	85,97%
	5	86,99%	85,73%
	Prom	87,55%	86,27%

Fuente: esta investigación

El escenario que alcanzo un mejor cumplimiento de la demanda fue el del intercambio de información, logrando abastecer en promedio el 91,99% de la demanda de mora. Por otro lado, para el cumplimiento de la demanda de pulpa de mora, el mejor resultado lo presenta el del VMI, con un cumplimiento promedio del 86,61%.

Tabla 6. Resumen del efecto de la integración en el desempeño logístico en el componente de fruta fresca.

ESCENARIO	VARIABLE RESPUESTA	MORA			
		AGRICULTOR	DISTRIBUIDOR	AGROINDUSTRIA	PUNTO DE VENTA
INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	INVENTARIO ALM.	0,00%	-100,00%	217,59%	-94,36%
	TRANSPORTE	0,00%	9,16%	-	-
	FALTANTES	-4,29%	-8,15%	-	-62,68%
	PERDIDAS DE FRUTA ALM.	0,00%	-100,00%	217,53%	-94,35%
	PERDIDAS DE FRUTA TRANSP.	0,00%	9,06%	-	-
	CUMPLIMIENTO DE DEMANDA	-	-	-	-
VMI	INVENTARIO ALM.	0,00%	0,34%	-37,34%	0,00%
	TRANSPORTE	0,00%	0,00%	-	-
	FALTANTES	-0,43%	-0,41%	-	0,00%
	PERDIDAS DE FRUTA ALM.	0,00%	0,00%	-37,42%	0,00%
	PERDIDAS DE FRUTA TRANSP.	0,00%	0,00%	-	-
	CUMPLIMIENTO DE DEMANDA	-	-	-	-
CONTRATOS	INVENTARIO ALM.	0,00%	-11,51%	-40,96%	4,74%
	TRANSPORTE	0,00%	1,06%	-	-
	FALTANTES	1,28%	1,86%	-	-19,01%
	PERDIDAS DE FRUTA ALM.	0,00%	-11,57%	-42,80%	4,74%
	PERDIDAS DE FRUTA TRANSP.	0,00%	1,06%	-	-
	CUMPLIMIENTO DE DEMANDA	-	-	-	-

Fuente: Esta investigación.

Tabla 7. . Resumen del efecto de la integración en el desempeño logístico en el componente de fruta procesada.

ESCENARIO	VARIABLE RESPUESTA	PULPA DE MORA			
		AGROINDUSTRIA	DISTRIBUIDOR	PUNTO DE VENTA	CADENA
INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	INVENTARIO ALM.	-100,00%	-100,00%	-100,00%	-100,00%
	TRANSPORTE	0,00%	0,00%	-	-
	FALTANTES	-2,34%	-89,67%	-93,43%	-4,34%
	PERDIDAS DE FRUTA ALM.	-	-	-	-
	PERDIDAS DE FRUTA TRANSP.	-	-	-	-
	CUMPLIMIENTO DE DEMANDA	-	-	-	-1,31%
VMI	INVENTARIO ALM.	54,57%	0,58%	-0,03%	25,19%
	TRANSPORTE	-0,03%	-0,03%	-	-0,02%
	FALTANTES	-0,39%	0,24%	0,39%	-0,37%
	PERDIDAS DE FRUTA ALM.	-	-	-	-
	PERDIDAS DE FRUTA TRANSP.	-	-	-	-
	CUMPLIMIENTO DE DEMANDA	-	-	-	0,02%
CONTRATOS	INVENTARIO ALM.	-16,74%	-2,33%	-2,32%	-8,99%
	TRANSPORTE	-2,32%	-2,36%	-	-2,32%
	FALTANTES	1,06%	57,34%	56,74%	2,30%
	PERDIDAS DE FRUTA ALM.	-	-	-	-
	PERDIDAS DE FRUTA TRANSP.	-	-	-	-
	CUMPLIMIENTO DE DEMANDA	-	-	-	-0,37%

Fuente: Esta investigación.

Los resultados muestran que la práctica de aprovisionamiento VMI permite una respuesta rápida de los proveedores (Agroindustria y Distribuidor) consecuencia del monitoreo de los niveles de inventario y pronóstico de ventas de los sectores que se integraron. Por esto mismo, la Agroindustria, el distribuidor y el Punto de Venta de pulpa de mora logra aumentar el cumplimiento de su demanda.

La Tabla 8 da a conocer cuál es el eslabón más beneficiado o perjudicado por la integración, las variables que presentaron una mejora se marcaron con una "x".

Tabla 8. Comparación de mejoras en las variables por escenario de integración

VARIABLE	MORA					PULPA DE MORA				TOTAL	
	IA	TR	FA	PA	PT	CD	IA	TR	FA		CD
RESPUESTA											
INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	X	X	X	X		X	X		X	X	7
VMI	X		X	X	X				X	X	6
CONTRATOS	X	X		X		X	X				5

Fuente: los autores. IA: inventario en almacén; TR: transporte; FA: faltantes; PA: pérdidas de fruta en almacén; PT: pérdidas de fruta en transporte; CD: cumplimiento de la demanda.

Tomando como referencia el número de variables respuesta que mejoraron, el intercambio de información logró mejorar 7 de las 10 variables respuesta, mientras que el VMI y los contratos mejoraron 6 y 5 variables respectivamente.

Para visualizar mejor los efectos de la integración en los sectores que componen la CS Agroindustrial de mora en Bogotá – Cundinamarca, se elaboró la Tabla 6 y Tabla 7 que muestra en primera medida si la cadena en su componente de fruta fresca o agroindustrial mejoró su desempeño logístico, o por el contrario presentó una disminución. Por ejemplo, para el escenario de intercambio de información, la CS agroindustrial en el flujo de fruta fresca disminuyó su nivel de inventario en un 18,25%. El sector que se benefició más fue el

Distribuidor, reduciendo su inventario de mora en un 100%, mientras que la Agroindustria aumento su inventario de fruta a más del doble. En los casos donde no aplica alguna variable respuesta se indica con "-".

### VIII. CONCLUSIONES

El modelo en dinámica de sistemas refleja la estructura de la CS de mora y permite estudiar la dinámica de los mecanismos de integración externa en el desempeño logístico de la misma a nivel eslabón y como un todo. Todos los mecanismos mejoraron la variable respuesta de nivel de inventario en almacén y disminuyeron las pérdidas de producto en almacén. El intercambio de información resultó ser el mecanismo que más beneficios consiguió, logró importantes mejoras como la reducción de un 18,25% del inventario de mora y la disminución de un 8,74% en los faltantes.

Con los resultados expuestos, se prueba la hipótesis dinámica planteada, en el sentido de que la integración externa mejora el desempeño de la cadena agroindustrial de mora como un todo; sin embargo, no todos los eslabones presentan mejoras, algunos actores empeoran su desempeño logístico en algunas medidas, tal como se ha afirmado en la literatura actual de integración.

### IX. TRABAJOS FUTUROS

Dada la estructura obtenida, puede evaluarse la generalización del modelo a otros productos agrícolas. Así mismo el modelo puede ser útil para la evaluación del comportamiento de la CS de productos agrícolas perecederos en un entorno internacional, dado que se incluye los eslabones importador y exportador.

Puede explorarse de una manera más detallada el comportamiento de las funciones de decaimiento, propias de productos perecederos y la forma en como los beneficios pueden ser distribuidos para que todos los eslabones se animen a integrarse.

### X. BIBLIOGRAFÍA

[1] N. Fabbe-Costes and M. Jahre, "Supply chain integration and performance: a review of the evidence," *The International Journal of Logistics Management*, pp. 130154, 2008.

[2] I. Castañeda, J. Canal y J. Orjuela, Caracterización de la Logística de la cadena de

abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia, Bogota, 2012.

[3] B. Flynn, B. Huo y X. Zhao, «The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach,» *Journal of Operations Management*, pp. 58-71, 2010.

[4] O. Ahumada and R. Villalobos, "Application of planning models in the agri-food supply chain: A review," *European Journal of Operational Research*, vol. 196, no. 1, pp. 1-20, 2009.

[5] A. Matopoulos, M. Vlachopoulou, V. Manthou and B. Manos, "A conceptual framework for supply chain collaboration: empirical evidence from the agri--food industry," *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 177 - 186, 2007.

[6] T. Stank, S. Keller and P. Daugherty, "Supply chain collaboration and logistical service performance," *Journal of Business Logistics*, pp. 29-48, 2001.

[7] S. O'Leary-Kelly and B. Flores, "The integration of manufacturing and marketing/sales decisions on organizational performance," *Journal of Operations Management*, pp. 221-240, 2002.

[8] R. Narasimhan and S. Kim, "Effect of supply chain integration on the relationship between diversification and performance: evidence from Japanese and Korean firms," *Journal of Operations Management*, pp. 303-323, 2002.

[9] S. Vickery, J. Jayaram, C. Droge y R. Calantone, «The effects of an integrative supply chain strategy on customer service and financial performance: An analysis of direct versus indirect relationships,» *Journal of Operations Management*, p. 523-539., 2003.

[10] C. Droge, J. Jayaram and S. Vickery, "The Effects of internal versus external integration practices on timebased performance and overall firm performance," *Journal of Operations Management*, pp. 557-573, 2004.

[11] A. F. Ruiz Moreno, A. L. Caicedo Otavo y J. A. Orjuela Castro, «Integración externa en las cadenas de suministro agroindustriales: Una revisión al estado del arte,» *Ingeniería*, vol. 20, nº 2, 2015.

[12] Arshinder, A. Kanda and Deshmukh, "Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions," *International Journal of Production Economics*, vol. 115, no. 2, p. 326, 2008.

[13] G. Cachon, «Supply chain coordination with contracts,» de *Supply Chain Management: Design, Coordination and Operation*, North-holland, 2003, pp. 2-5.

- [14] U. Ramanathan, «Performance of supply chain collaboration – A simulation study,» *Expert Systems with Applications*, vol. 41, n° 1, pp. 210-220, 2014.
- [15] S. Sun y J. Yen, «Information supply chain: A unified framework for information-sharing,» *Intelligence and Security Informatics*, pp. 422-428, 2005.
- [16] Z. Lofli, M. Mukhtar, S. Sahran y A. T. Zadeh, «Information Sharing in Supply Chain Management,» *Procedia Technology*, p. 298 – 304, 2013.
- [17] Corpoica, «El cultivo de Mora: Proyecto de transferencia de Tecnología sobre el cultivo de Mora,» Pronatta, Bogotá, 2000.
- [18] M. d. A. y. D. Rural, «Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2007-2011 y sus Calendarios de Siembras y Cosechas,» Editorial JL Impresores LTDA, Bogotá, 2012.
- [19] MADR, G. d. Cundinamarca, FNFH, Asohofrucol y SAG, «Plan Frutícola Nacional: Desarrollo de la Fruticultura en Cundinamarca,» 2006.
- [20] L. Aramyan, O. Lansink and J. Van der Vorst, «Performance measurement in agrifood supply chains: A case study,» *Supply Chain Management: An International Journal*, pp. 304 - 315, 2007.
- [21] J. Orjuela y W. Adarme, «Identificación de asimetrías en los medios de almacenamiento y transporte en la cadena de frutas colombiana.,» de Primer Congreso Internacional Industria y Organizaciones, Logística para la Competitividad, Bogotá, 2014.
- [22] J. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking*, United States: McGraw Hill, 2000.
- [23] H. Yasarcan, «Information Sharing in Supply Chains: A Systemic Approach,» de 29th International Conference of the System Dynamics Society 2011, Washington, DC, USA, 2011.
- [24] J. Cardozo, L. Isaza, A. Lopez y S. Rodriguez, «Propuesta para el desarrollo de un clúster frutícola en el departamento de Cundinamarca,» Bogotá, 2011.
- [25] S. Fawcett and G. Magnan, «The rhetoric and reality of supply chain integration,» *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, pp. 339-361, 2002.
- [26] W. Zhao y Y. Wang, «Coordination of joint pricing/production decisions in a supply chain,» *IIE Transactions*, vol. 34, n° 8, p. 701–715, 2002.
- [27] H. Lee, V. Padmanabhan and S. Whang, «Information distortion in supply chain: The bullwhip effect,» *Management Science*, pp. 546-558, 1997.
- [28] M. Maleki and V. Machado, «An Empirical Review On Supply Chain Integration,» *Management and Production Engineering Review*, pp. 85-96, 2013.
- [29] M. Cao and Q. Zhang, *Supply Chain Collaboration: Roles of Interorganizational Systems, Trust, and Collaborative Culture*, London: Springer, 2013.
- [30] Wantao Yu, M. Jacobs, D. Salisbury and H. Enns, «The effects of supply chain integration on customer satisfaction and financial performance: An organizational learning perspective,» *International Journal of Production Economics*, p. 346–358, 2013.
- [31] M. Hudnurkar and U. Rathod, «Collaborative supply chain: insights from simulation,» *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 3, no. 2, pp. 122-144, 2012.

## AUTORES

**ANDRÉS FELIPE RUIZ MORENO:** Nació en Bogotá, Colombia. Es Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, de Bogotá, Colombia. Integrante del Grupo de investigación GICALyT. e-mail: afruizm@udistrital.edu.co

**ANDRÉS LEONARDO CAICEDO OTAVO:** Nació en Bogotá, Colombia. Es Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, de Bogotá, Colombia. Integrante del Grupo de investigación GICALyT. e-mail: alcaicedoo@udistrital.edu.co

**JAVIER ARTURO ORJUELA CASTRO:** Nació en Bogotá, Colombia. Es Ingeniero de Alimentos, Ingeniero Industrial, Especialista en Ingeniería de producción de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Obtuvo su título de Maestría en Investigación y Estadística en la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Actualmente estudia Doctorado en Ingeniería Industria y Organizaciones en la Universidad Nacional de Colombia, Se desempeña como profesor e investigador en las áreas de Logística en Distrital Francisco José de Caldas, Director del Grupo de investigación GICALyT. e-mail: jorjuela@udistrital.edu.co

## 64. MODELO DINÁMICO DE SISTEMAS QUE ANALIZA LA COBERTURA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA.

**SANDRA LUCIA MUÑOZ GUEVARA, OMAR JULIAN FLOREZ MORALES, JUAN CARLOS OSORIO GOMEZ**

Universidad del Valle - Sede Palmira - Colombia

sandra.l.munoz@correounivalle.edu.co, omar.florez@correounivalle.edu.co, juan.osorio@correounivalle.edu.co.

### ABSTRACT

A dynamic model to study the most important factors associated with academic coverage provided by a university in Colombia and operates under the sectional scheme is presented. The model covers the most important economic elements and evaluates oriented study on the possible extension of the academic offerings of the University based scenarios.

**KEYWORDS:** Coverage, Dynamics Models, Academic.

### RESUMEN

Mediante este estudio se implementó un modelo dinámico que permitió analizar el comportamiento de la cobertura de la Universidad del Valle Seccional Palmira, analizando sus límites de crecimiento y teniendo en cuenta los factores económicos que impiden su ampliación de oferta académica, a través del uso de la herramienta VENSIM, que permite visualizar y evaluar los resultados de la simulación del modelo y plantear diferentes escenarios posibles de cobertura.

desarrollo de las organizaciones y la dinámica de sistemas (Aracil & Gordillo, 1995).

En el desarrollo de las organizaciones, se crea un plan de intervención apropiado enseñanza-aprendizaje en función de los objetivos deseados por la organización; mientras tanto en la dinámica de sistemas se combina el análisis y la síntesis, suministrando un lenguaje que permite a la organización expresar las relaciones que se producen en un sistema complejo y explicar su comportamiento en el tiempo.

### II. INTRODUCCION

El constante y acelerado cambio en todos los escenarios a nivel global ha comprometido a todos los actores en función de replantear su accionar así como los obliga a entrar en un contexto de mejora continua. Cualquier forma de organización llámese empresa, asociación, consorcio, universidad o institución; es componente inmerso al sistema, por lo tanto, los anteriores están en la búsqueda permanente de nuevos mecanismos que permitan dar respuestas rápidas y efectivas, con el fin de adaptarse al medio, sobrevivir y desarrollarse en él. Adicionalmente, genera flexibilidad y adaptación en el mismo, en consecuencia, si el entorno muestra complejidad entonces la organización responderá en igual nivel de complejidad. Para que las organizaciones alcancen este nivel, se emplean metodologías que se encuentran en las áreas del

En este orden de ideas, la anterior situación no es ajena a la Universidad del Valle, por consiguiente, en la búsqueda de construir un modelo de Regionalización adecuado a los procesos sociales y económicos, en un mundo cada vez más globalizado y capaz de responder eficazmente a las demandas de los actores locales del desarrollo, y desde una caracterización sub-regional del Valle del Cauca; se busca la necesidad de dinamizar un modelo diferente de Regionalización. Dicha necesidad ha sido planteada en el plan de desarrollo estratégico 2.005-2.015 de la Universidad (Universidad del Valle, 2005a) y reconocida en el informe que el Rector dio sobre la Acreditación Institucional de la Universidad posterior a la visita de los pares académicos.

Ante este planteamiento, la dirección de Regionalización en conjunto con los directores de las Sedes Regionales de la Universidad del Valle, han

realizado un ejercicio tendiente a identificar cuáles son los principales obstáculos, nudos críticos, variables, recursos y factores que habrán de ser superados para que la política de Regionalización este de cara a las nuevas realidades; con respuestas inmediatas y eficaces a las necesidades de formación, proyectos sociales e investigativos de la región. Algunas variables habrán de estar relacionadas con aspectos académicos o administrativos, oferta de programas, asignaturas y cupos, todas estas medidas en una unidad de tiempo.

Este estudio presenta un modelo dinámico, por medio de la herramienta VENSIM, del comportamiento de los cupos que se ofrecen en la Sede Palmira y ahora Seccional, dentro de sus programas académicos y las variables que influyen en su población estudiantil, que está determinada en un inicio por la admisión de nuevos estudiantes. Igualmente, este estudio permitió analizar mediante el modelo dinámico implementado, la planificación de la Cobertura (cupos) en la Seccional Palmira de la Universidad del Valle, con el objetivo de concluir qué variables o eventos determinan básicamente la Cobertura de la demanda de esta subregión, dentro del sistema de Regionalización.

La organización del trabajo es la siguiente: en la Sección II se explican las características principales del modelo. La Sección III muestra detalles de la implementación. La Sección IV muestra el modelado con la herramienta de software VENSIM. Finalmente, se pueden encontrar las conclusiones en la Sección V.

### III. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

Para el estudio de los sistemas en general se ha desarrollado lo que se conoce como metodología sistémica o conjunto de métodos mediante los cuales el abordar los problemas en los que la presencia de sistemas es dominante. En realidad, la metodología sistémica pretende aportar instrumentos con los cuales estudiar aquellos problemas que resultan de las interacciones que se producen en el seno de un sistema, y no de disfunciones de las partes consideradas aisladamente.

Este proceso consiste en analizar toda la información de la que se dispone con relación al proceso, depurarla y reducirla a sus aspectos esenciales y reelaborarla de modo que pueda ser transcrita al lenguaje sistémico que se está viendo. En el estudio se realizó el siguiente proceso:

**Definición del Problema:** En esta primera fase se define claramente el problema y se establece si es adecuado para ser descrito con los útiles sistemas que se han desarrollado.

**Conceptualización del Sistema:** En esta segunda fase se muestran los resultados obtenidos a través del diagrama de influencias definiendo los distintos elementos involucrados en la definición del problema.

**Formalización:** En esta tercera fase se utilizar el diagrama de Forrester, donde se identifican cada una de las variables que inciden en el modelo planteado.

**Comportamiento del Modelo:** En esta cuarta fase se analizan los diferentes resultados y cuál es su incidencia en la definición del problema planteado.

**Explotación del Modelo:** En esta quinta fase, el modelo nos permite analizar diferentes alternativas que definen posibles escenarios que representan las situaciones de nuestro tema de estudio.

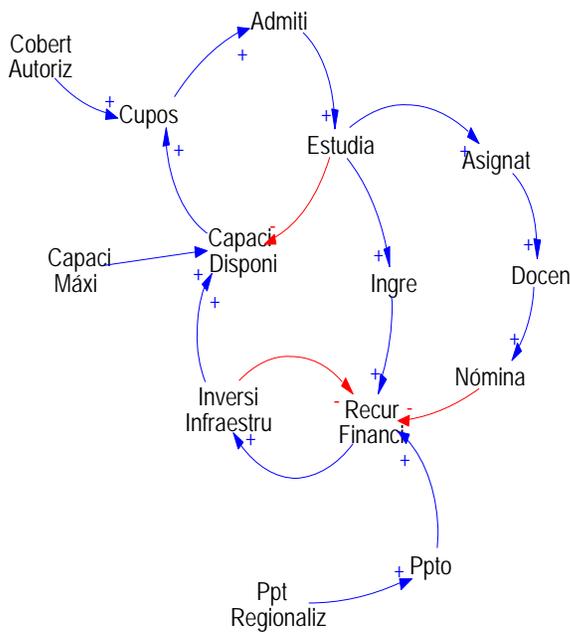
### IV. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE COBERTURA

En La Universidad del Valle Sede Palmira, la cantidad de estudiantes está condicionada por la cantidad de estudiantes admitidos quienes ingresan a la Universidad en cada período académico y por aquellos que culminan sus estudios y obtienen un título. De acuerdo al número de estudiante y de programas, se determina la cantidad de asignaturas que se deben programar en la Sede y así mismo la cantidad de docentes necesarios para cumplir la mencionada programación. Los recursos financieros de la Sede están conformados por los ingresos generados por concepto de matrícula financiera de los estudiantes y por el presupuesto de la Sede, el cual se estima como un porcentaje del total del presupuesto del sistema de regionalización, de acuerdo a la proporción de estudiantes matriculados en la Sede Palmira. Estos recursos financieros son utilizados, entre otras cosas, en el pago de la nómina docente y en la inversión de la infraestructura. Esta última, se estima como un porcentaje del total de los recursos financieros destinados al mantenimiento y desarrollo de la Infraestructura general de la Sede.

La capacidad disponible en la Sede, está determinada por la diferencia entre la cantidad de espacios físicos disponibles y la cantidad de estudiantes quienes se

ubican en los espacios físicos para el desarrollo de sus actividades diarias.

Adicionalmente, se realiza inversión en infraestructura la cual permite aumentar la cantidad de salones disponibles. De otro modo, los cupos aprobados dependen de la cobertura autorizada por el sistema de regionalización y por la capacidad disponible de la Sede, la cual, establece la cantidad de estudiantes que la universidad está en condiciones de acoger. Por último, los cupos aprobados son utilizados por aquellas personas que se inscriben a la Universidad y se les aprueba el cupo, convirtiéndose en los estudiantes admitidos.



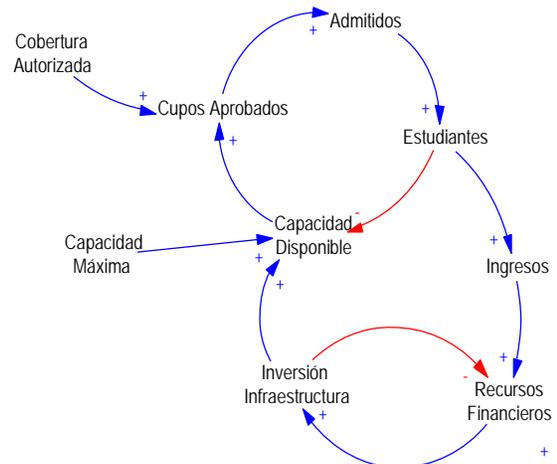
Gráfica No. 1 – Diagrama de Influencias del comportamiento de la cobertura.

Se procede a analizar cada bucle presente en el diagrama de influencias anteriormente presentado para definir las influencias de las variables presentes en el análisis. El primer bucle que se identifica es un bucle de balanceo (B1) que está definido por las siguientes variables.

En el bucle se puede observar que la cobertura está autorizada en un principio por la Universidad que en este caso se define en las Unidades Académicas que están dentro de las Escuelas, que a su vez rigen los programas académicos. Esta cobertura autorizada influye directamente (positiva) sobre los cupos aprobados a ser ofertados en los programas académicos que se ofrecen en la Sede Palmira, por

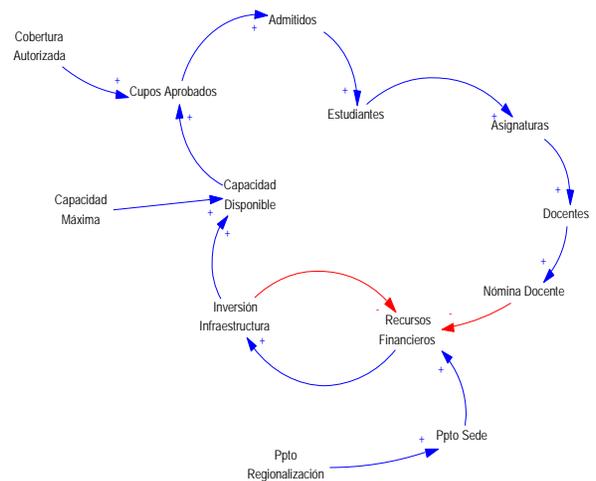
tanto al existir estos cupos permitirán que existan admitidos en los programas y su influencia es positiva, permitiendo de esta manera que se incrementen los estudiantes matriculados, los cuales afecta inversamente (negativa) la capacidad disponible, la cual está limitada por la capacidad máxima, disminuyendo los cupos que se puedan aprobar.

Al mismo tiempo, el incremento de los estudiantes permite que existan más ingresos y que se tengan más recursos financieros, que permitirá la inversión en infraestructura y de esta manera aumentar la capacidad disponible. Sin embargo, este gasto en infraestructura afectará los recursos financieros que están limitados por el presupuesto de la Sede.



Gráfica No. 2 Bucle de balanceo (B1).

En el siguiente bucle se identifica un balanceo (B2) que está definido por las siguientes variables:



Gráfica No. 3 Bucle de balanceo (B2).

Este bucle tiene el mismo inicio del anterior y presenta una variación al tener más estudiantes, lo que hace que se deba programar más asignaturas, que a su vez, influye (positivamente) en el aumento de los docentes en la sede y el pago de la nómina docente, haciendo que se incremente, es decir, el gasto financiero aumenta, lo cual afectará (negativamente) los recursos financieros de la sede y por ende los capacidad disponible y los cupos aprobados, que para este caso representa la cobertura.

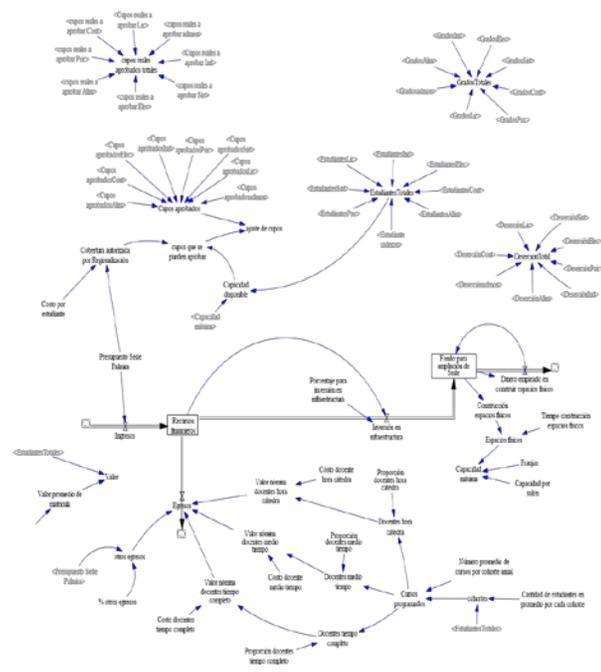
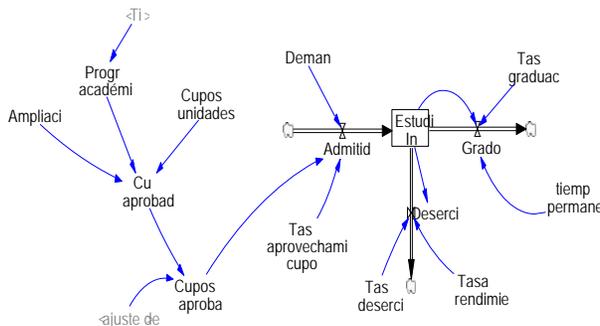
V. IMPLEMENTACIÓN

A continuación se muestra el diagrama de Forrester utilizado mediante la herramienta denominada VENSIM para la simulación del funcionamiento de la Universidad del Valle Sede Palmira:

En principio se elaboró un diagrama para cada uno de los programas académicos de la Sede Palmira que se analizó en este estudio, en donde se buscó representar la definición de cupos aprobados, la demanda del programa, tomando como referencia los inscritos para cada programa al año y a esa demanda se analizó la tasa de aprovechamiento de los cupos otorgados, lo que significa que hay cupos que se pierden al encontrar estudiantes que son admitidos pero no realizan matrícula académica, y que al final son estos estudiantes los que realmente establecen la cantidad de estudiantes matriculados en la sede.

De igual manera se calculó la tasa de deserción por Bajo Rendimiento Académico y por aquella deserción que no es Bajo Rendimiento. Para el caso de los grados se hizo el mismo supuesto de una tasa de graduación por programa.

Este mismo diagrama se hizo para cada programa.



Gráfica No. 4 - Diagrama de Forrester que modela el comportamiento de la Cobertura.

VI. CASO DE ESTUDIO

En esta parte, se identificarán las variables que inciden en el modelo.

VARIABLES DE NIVEL

**Estudiantes Totales:** Esta variable es la cantidad total de estudiantes matriculados en la Sede Palmira.

**Fondo para ampliación de Sede:** Esta variable sería una propuesta, la cual representa la cantidad de dinero que se propone destinar para la construcción de nuevos espacios físicos.

**Recursos Financieros:** Es la cantidad de dinero con el cual cuenta la Sede Palmira, el cual se representa con el dinero que ingresa y el que sale.

VARIABLES DE FLUJO

**AdmitidosProg:** Es la cantidad de personas a quienes se les ha autorizado el cupo y han decidido tomarlo por programa académico.

**Capacidad disponible:** Esta variable representa la cantidad de estudiantes que la Universidad aún está en capacidad de recibir, entre la capacidad máxima de la Sede Palmira y la cantidad de estudiantes matriculados.

**Cohortes:** Representa la cantidad promedio de cohortes, según la cantidad de estudiantes matriculados y el estimado de la cantidad de estudiantes en promedio que conforman una cohorte.

**Cupos aprobados:** Es la cantidad de cupos que la Universidad oferta por periodo por programa académico y se otorgan a quienes se hayan inscrito en los programas académicos y cumplan con los criterios establecidos por la Universidad para ser admitidos.

**Cupos autorizados por Regionalización:** Es la cantidad de cupos autorizados por el sistema de regionalización para ofertar en la Sede Palmira, según el presupuesto de la Sede Palmira y el costo por estudiante.

**Cursos programados:** Es la cantidad total de cursos programados en la Sede Palmira en un año, según la cantidad de cohortes y el número promedio de asignaturas programadas para cada cohorte en un año.

**Deserción:** Equivale a la cantidad de estudiantes de cada programa académico que sin obtener su título profesional, no continúan sus estudios en la Universidad del Valle.

**Dinero empleado en construir espacios físicos:** Es la cantidad de dinero necesaria para la construcción de un bloque similar al que está construido en la actualidad, equivalente a \$6.000.000.000 provenientes del Fondo para la ampliación de la Sede.

**Docentes hora cátedra, medio tiempo y tiempo completo:** Es la cantidad de docentes que la Universidad contrata en alguna modalidad, de acuerdo a los cursos programados y la proporción de docentes asignados a los cursos programados. Egresos: Es la cantidad de dinero que la Universidad utiliza en el desarrollo de sus actividades.

**Espacios físicos construidos:** Representa la cantidad de espacios físicos que se construyen con el dinero acumulado en el Fondo para la ampliación de Sede.

**Grados:** Equivale a la cantidad de estudiantes que culminaron sus estudios universitarios y obtienen un título.

**Ingresos:** Equivale a la cantidad de dinero que ingresa a la Sede Palmira conformado por: Ingreso por fondo especial y por fondo común. En donde la matrícula de estudiantes de la sede, ingresa al fondo especial.

**Presupuesto Sede Palmira:** Es la cantidad de dinero que le corresponde a la Sede Palmira del total del Presupuesto del sistema de regionalización.

**Valor nómina docente:** Es la cantidad de dinero que la Universidad paga por concepto de nómina de la totalidad de docentes.

## VARIABLES AUXILIARES

**Cantidad de estudiantes en promedio por cada cohorte:** Es la cantidad promedio de estudiantes en una cohorte, equivalente a 31 estudiantes.

**Capacidad por salón:** Corresponde a la cantidad máxima de estudiantes que se pueden ubicar en un salón en una jornada académica, equivalente a 55 Estudiantes.

**Costo docente hora cátedra:** Corresponde al valor que la Universidad paga por concepto de nómina de los docentes hora cátedra por dictar una Asignatura, Equivalente a \$2.146.392.

**Costo docente medio tiempo:** Corresponde al valor que la Universidad paga por concepto de nómina de los docentes medio tiempo por dictar una Asignatura, Equivalente a \$1.276.800.

**Costo docente tiempo completo:** Corresponde al valor que la Universidad paga por concepto de nómina de los docentes tiempo completo por dictar una Asignatura, Equivalente a \$2.222.036.

**Costo por estudiante:** Es el costo que le representa a la Universidad, el tener matriculado un estudiante por el lapso de un año, en promedio es de \$3.970.126.

**Cupos aprobados por unidades académicas:** Es la cantidad de cupos aprobados por las unidades académicas en un año, teniendo en cuenta que los programas se ofertan una (1) sola vez al año por registro calificado ante el MEN. El cual es equivalente a 55 cupos.

**Espacios físicos:** Es la cantidad de aulas y demás espacios en los cuales los estudiantes desarrollan sus actividades académicas, que en la actualidad son 20.

**Franjas:** Representa la cantidad de jornadas académicas en las cuales la Universidad ejerce sus actividades académicas, equivalentes a 4 jornadas.

**Número promedio de cursos por cohorte anual:** Representa la cantidad de asignaturas promedio que son programadas en la Universidad para cada cohorte en un año, equivalente a 9 asignaturas.

**Porcentaje para inversión en Infraestructura:** Es la proporción de dinero invertido en Infraestructura del Presupuesto de la Sede Palmira, equivalente al 50% (0.5).

**Programas Académicos:** Representa los programas académicos ofertados en la Sede Palmira en un año, los cuales son equivalentes a 8 programas académicos para este estudio.

**Proporción docentes hora cátedra:** Es la proporción de cursos que son asignados a los docentes hora cátedra, equivalente al 67% (0.67) de los cursos programados.

**Proporción docentes medio tiempo:** Es la proporción de cursos que son asignados a docentes medio tiempo, equivalentes al 17% (0.17) de los cursos programados.

**Proporción docentes tiempo completo:** Es la proporción de cursos que son asignados a docentes tiempo completo, equivalente al 16% (0.16) de los cursos programados.

**Tasa de aprovechamiento de los cupos:** Es la proporción de los cupos aprobados y que son tomados por los inscritos pasando a ser estudiantes matriculados.

**Tasa de bajo rendimiento:** Es el promedio de bajos rendimientos académicos de la totalidad de estudiantes de la Universidad del Valle Sede Palmira a partir del año 2004 al 2014.

**Tasa de deserción:** Es el promedio de otras deserciones de la totalidad de estudiantes de la Universidad del Valle Sede Palmira desde el año 2004 al 2012.

**Tasa de graduación:** Es el porcentaje de estudiantes egresados en la Universidad del Valle Sede Palmira por año. Tiempo construcción de espacios físicos: Es el tiempo estimado para la construcción de un bloque similar al que está construido en la actualidad, equivalente a 3 años.

**Tiempo de permanencia:** Es el tiempo estimado de permanencia de un estudiante en la Universidad desde que se matricula hasta que obtiene el título profesional, equivalente en promedio a 7 años.

**Valor Promedio de Matrícula:** Es el valor promedio del concepto de matrícula en la Universidad del Valle Sede Palmira, tal como se muestra en la siguiente tabla, equivalente a \$614.971.

## VARIABLE STEP

**Ampliación:** Es el total de estudiantes que ingresaron a la Universidad del Valle en el año 2010 bajo el criterio de ampliación de cobertura, equivalente a 990 Estudiantes.

## VII. RESULTADOS

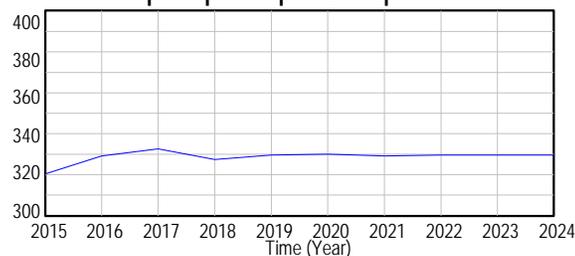
### Escenario 1: Comportamiento de la Cobertura (cupos) en la Sede Palmira.

El primer escenario que se analiza son los cupos, los cuales se definen dependiendo del presupuesto de la Sede Palmira, el cual se divide sobre el costo de matrícula de los estudiantes, por lo tanto al aumentar el valor del costo por estudiante, es decir, lo que la Universidad del Valle invierte en sostener un estudiante matriculado en sus aulas al año, disminuyen los cupos a ofertar en el sistema, dado que, cada vez se aumentan

los gastos de inversión, como puede ser el ofrecer en las Sedes un sistema completo de Bienestar Universitario, el cual incluye servicio de restaurante, servicio médico, servicio deportivo etc. como lo ofrece la sede principal. Este incremento de servicios haría que el costo por estudiante se incremente. En la actualidad el costo por año en el 2015 es de 4.870.703, y suponiendo un incremento que alcance un costo de 7.500.000 al año, incorporando el servicio deportivo el cual consistiría en pagar el alquiler de los servicios del IMDER Palmira (que por convenio de colaboración en la actualidad no se cobra), haría que el número de cupos a ofertar se mantenga constante y el número de estudiante matriculados se mantendría alrededor de los 1.200 estudiantes. Al disminuir la cantidad de estudiantes matriculados en la Sede, esto afecta directamente la cantidad de cursos a ser programados al año, disminuyendo de 521 asignaturas en promedio al 2015, a 338 cursos al año al 2024.

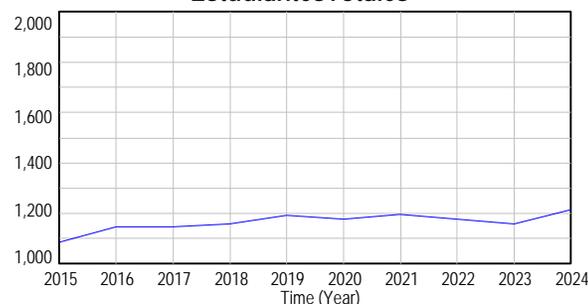
Consecuentemente con la disminución de los cursos ofertados, se afecta la contratación docentes en la Sede en las diferentes modalidades de Medio Tiempo (MT) y Tiempo Completo (TC), los cuales para la simulación esta cantidad aumentaría entre los 50 y 60 docentes en estas modalidades.

Cupos que se pueden aprobar



cupos que se pueden aprobar : escenario  
Gráfica No. 5 – Número de cupos que se pueden ofertar al año al incrementar el costo por estudiante.

EstudiantesTotales



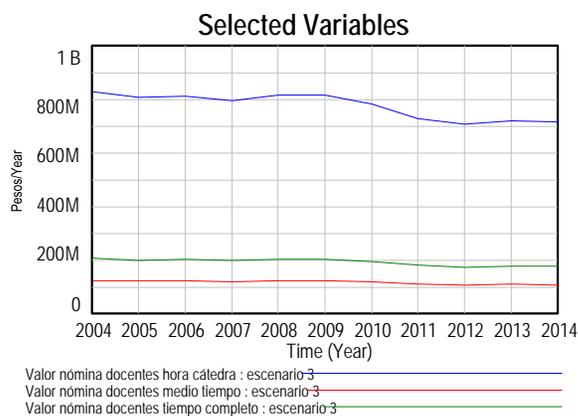
EstudiantesTotales : escenario 3  
Gráfica No. 6 – Número de estudiantes totales matriculados en la Sede al año.

### Escenario 2: Comportamiento de la contratación docente en modalidad HC, MT y TC.

Un factor importante en el análisis de la cobertura está el recurso financiero de la Sede, lo cual permite definir los límites de oferta de cursos y contratación de los docentes ya que es uno de los principales gastos que tiene la sede regional y es el rubro en que más se invierte y le sigue el de inversión en infraestructura.

Actualmente, se tiene que el costo de docentes hora cátedra (HC) es más costoso que la contratación de docentes medio tiempo (MT) o tiempo completo (TC).

En la simulación hacia el 2024, se observa el mismo comportamiento del actual en donde se mantiene con mayor costo la contratación HC que los MT y TC. En caso, de sólo tener contratación con docentes MT y TC, sin los docentes HC, el comportamiento financiero sería el mismo, es decir, no habría mucho cambio en los gastos a pesar que se hizo la suposición que los TC fueran el 70% de los docentes de planta el 30% los MT. Al revisar el comportamiento de los recursos financieros, la inversión en infraestructura y el fondo para ampliación de la sede (propuesta de ahorro para construir otro bloque) se observa que su comportamiento es uniforme y que se podría hacer inversión en el año 2023.



Gráfica No. 7 – Costo docente HC, MT y TC en la Sede Palmira.

## VIII. DISCUSIÓN

En el desarrollo de este estudio se revisó la literatura relacionada con la Dinámica de Sistemas, principalmente la de los autores que exponen una metodología para el uso de modelos dinámicos aplicados a diferentes casos de estudio.

De manera general, diferentes autores definen la dinámica de sistemas como una metodología ideada

para resolver problemas concretos que se presentan en determinadas empresas. En este sentido, se tuvo en cuenta información relacionada con el sector educativo que está relacionada con nuestro tema de investigación. Tal es el caso del estudio realizado por los autores Cabana, Fabra, Pontones, y Sierra (2010), quienes identificaron los efectos a largo plazo producidos por las políticas de ampliación de cobertura que propone al Estado en la Educación Superior Colombiana, debido a que en el momento de ser implementadas es notorio el incremento en la población universitaria, sin tener en cuenta el impacto que tendrá en las oportunidades de empleo que ofrece el sector laboral para los recién graduados, que de una u otra manera pueden disminuir o aumentar el interés de los aspirantes a su formación profesional.

## IX. CONCLUSIONES

Dentro del desarrollo de este estudio se revisó a Cabana, Fabra, Pontones y Sierra (2010), donde se identificó los efectos a largo plazo producido por las políticas de ampliación de cobertura que propone el Estado en la Educación Superior en Colombia, como fue el no tener en cuenta el impacto que tendrá los graduados en el sector laboral, lo cual incide en el interés de los bachilleres al momento de escoger un programa académico en una Universidad, por eso se recomienda que en este estudio se adicione este aspecto para una mejora del análisis de la cobertura y su impacto con el entorno regional de la Sede Palmira.

Otra de las recomendaciones a tener en cuenta es determinar el impacto que existe hoy en día de la Educación a distancia o virtual y de qué forma incide en la cobertura a nivel Universitario, dado que, en este sentido existen otras variables que no se necesitan tener en cuenta como sería el de la capacidad máxima de un sitio físico o de un salón con capacidad limitada, no necesariamente se deba hacer inversión en infraestructura o mantenimiento, servicios de bienestar universitario, como cafeterías, servicio médico u odontológico, etc. que si tiene en cuenta la Sede Palmira.

Este estudio permite mirar las condiciones de la Sede Palmira, principalmente en el aspecto financiero, dado que, reciben un presupuesto que depende de la nación como universidad pública, aunque no de manera directa sino a través de la Sede Principal y esta debe distribuir las partidas presupuestales entre las dos sedes principales en Cali y el sistema de regionalización. Este

presupuesto afecta la posibilidad de oferta de cupos en los programas académicos, dado que se tienen limitantes en cuanto a capacidad física y a costos financieros de sostenibilidad de las cohortes, contratación de docentes y oferta de cursos en el año.

Otro aspecto importante que se analizó, fue si dentro de la contratación de los docentes bajo diferente modalidad TC, MT y HC cambiaba o afectaba notoriamente los gastos o los recursos financieros, que impidieran la oferta de cupos o la cobertura en la Sede, y se logró observar que se mantienen uniformemente los costos en este aspecto y que se puede proponer un fondo para la ampliación de la sede en un nuevo edificio con las mismas condiciones técnicas que permitiera ampliar la capacidad máxima y a la vez su capacidad de ofertar más programas, dando una simulación de construcción proyectada para el año 2023.

## X. REFERENCIAS

- Ackere, A. V., Larsen, E., & Warren, K. (1997). The growth of service and the service of growth: Using system dynamics to understand service quality and capital allocation. *Decision Support Systems*, 19, 271-287.
- Aracil, J. (1983). *Introducción a la dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza Universidad.
- Aracil, J., & Gordillo, F. (1995). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza Universidad.
- Arango, S. & Tamayo, J. C. (2009). Análisis sistémico de la operación de Administradoras de Riesgos Profesionales en Colombia. Artículo derivado del trabajo de investigación para optar al título de magister en Ingeniería Administrativa "Evaluación del impacto de nuevas regulaciones en Administradoras de Riesgos Profesionales con dinámica de sistemas", Universidad Nacional de Colombia.
- Arias Valencia, J., Narváez Velasco, M., & Rubio Rocha, D. (2010). Análisis dinámico de la planificación del número de usuarios del programa de ingeniería industrial en la Universidad del Valle. *Introducción a la simulación dinámica* (pp.1-20). Cali: Universidad del Valle.
- Bertocchi, G., & Spagat, M. (2004) The evolution of modern educational systems Technical Vs. General education, distributional conflict, and growth. *Journal of Development Economics*, 73, 559-582.
- Cabana, A., Fabra, H., Pontones, J. D., & Sierra, J. J. (2010). Efecto de las políticas de ampliación de cobertura de la educación superior colombiana. Una perspectiva desde la dinámica de sistemas. En *Memorias 8º Congreso Latinoamericano y 8º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*, (pp. 83- 91), Medellín, Colombia.
- DANE. (2005). *Censo General 2005*. Gobierno de Colombia, Bogotá.
- De La Croix, D. & Doepke, M. (2004). Public versus private education when differential fertility matters. *Journal of Development Economics*, 73, 607-629.
- De La Croix, D. & Doepke, M. (2012). Public versus private education when differential fertility matters. *Journal of Development Economics*, 73, 607-629.
- Fundación Progresamos. (2012). *Anuario Estadístico de Palmira 2012*. Palmira: Colombia.
- Gómez, C. (s.f.) Sede Regional Palmira, de la región para el mundo. Informe presentado a la Dirección de Regionalización. Universidad del Valle, Colombia.
- Kalenatic, D., Mancera Méndez, L. H., Moreno Valbuena, K. V. & González Rodríguez, L. J. (2011). Metodología de planeación logística basada en gestión de proyectos y dinámica de sistemas en empresas prestadoras de servicios. *Revista Facultad de Ingeniería*. 58, 208-218.
- Kirazoğlu, C. (2009). The investigation of school-dropout at the secondary level of formal education: the stated reasons by the school administrators and school counselors: a preliminary study. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 1, 905-914.
- Organización de las Naciones Unidas. (1948). *Declaración de los Derechos Humanos*. United Nations.
- Organización de las Naciones Unidas. (1960). *Convención relativa a la Lucha contra las Discriminaciones en la Esfera de la Enseñanza*. United Nations.
- Rizo Otero, H. J. (1987). *La Universidad del Valle un Sistema Universitario Regional*, 25-30.

Presidencia de la Republica, ICFES & MEN. (2000). Movilización social por la educación superior: Construcción colectiva de un modelo ideal de Educación Superior. Memorias Segunda Fase (p. 59), Bogotá, Colombia.

Stavredes, T. (2001). A system dynamics evaluation model and methodology for instructional technology support. *Computers in Human Behavior* 17, 409-419.

Thomas, E., Ogunnaike, B., & Muske, K. (2006). A global view of graduate process control education. *Computers and Chemical Engineering*, 30, 1763-1774.

Trent, S., Driver, B., & Martin, T. (2003). Creating and sustaining a special education/general education partnership: a story of change and uncertainty. *Teaching and Teacher Education*, 29, 203-219.

UNESCO. (1996). La Educación Encierra un Tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional Sobre Educación para el siglo XXI (p. 22).

Universidad de Antioquia. (2002). Plan estratégico de regionalización de la Universidad de Antioquia. Dirección de Regionalización, Medellín, Colombia.

Universidad del Valle. (1972). Informe de propuesta para la redefinición del Modelo de Regionalización. Santiago de Cali, Colombia.

Universidad del Valle. (2003). Acuerdo 019 del 10 de febrero de 2003: "Por el cual se reestructura el Sistema de Regionalización para facilitar su transición a un sistema basado en Seccionales y Sedes Regionales". Consejo Superior, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

Universidad del Valle. (2005a). Plan Estratégico de Desarrollo 2005-2015. Santiago de Cali, Colombia.

Universidad del Valle. (2005b). Resolución 025 Mayo de 2005: "Por la cual se autoriza el desmonte gradual de los derechos especiales y se modifica la tabla de matrícula para los estudiantes de las Sedes Regionales". Consejo Superior, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

Universidad del Valle. (2006). Informe de Rectoría. Modelo de Regionalización periodo 2005-2015. Santiago de Cali, Colombia.

Universidad del Valle. (2009). Informe de propuesta para la redefinición del Modelo de Regionalización. Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

Universidad del Valle. (2013). Informe sobre Desarrollo de Actividades del Sistema de Regionalización Período Enero – Diciembre de 2012 (resumen). Dirección de Regionalización, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

Varela, G. (2006). The higher education system in Mexico at the threshold of change. *International Journal of Education Development*, 26, 5266.

#### AUTORES

**JUAN CARLOS OSORIO GÓMEZ MS.C.** en Ingeniería Industrial. Profesor titular escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle.

**SANDRA LUCIA MUÑOZ GUEVARA** Administradora de Empresas, Especialista en Administración de Calidad Total y la Productividad, Estudiante de la Maestría en Ingeniería énfasis Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle.

**OMAR JULIÁN FLÓREZ MORALES** Ingeniero de Sistemas, Especialista en Gestión de la Innovación Tecnológica, Estudiante de la Maestría en Ingeniería énfasis Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle.



## 65. MODELAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA DE UN LAGO COMPLETAMENTE MEZCLADO

**JOHAN MANUEL REDONDO**

Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales. Bogotá D.C., Colombia.  
galileonp@hotmail.com.

### RESUMEN

En este artículo se elaboró un modelo matemático para el establecimiento de la calidad del agua de un lago completamente mezclado utilizando Dinámica de Sistemas. El modelo obtenido se contrasta con el que puede encontrarse al utilizar como técnica de modelamiento el Balance de Materia del lago. El resultado es que los modelos obtenidos con Dinámica de Sistemas y Balance de Materia son exactamente iguales. También se realiza un análisis con Sistemas Dinámicos, encontrando que el sistema tiene un único punto de equilibrio estable, resultado que permite entender el comportamiento completo de las órbitas del sistema en el espacio de estados. Se realizan simulaciones para confirmar lo encontrado con Sistemas Dinámicos. Se concluye que para un vertimiento continuo sobre el cuerpo de agua, siempre será posible encontrar trazas del contaminante, de forma independiente a la capacidad de resiliencia del lago o al sistema de depuración que sea utilizado.

**PALABRAS CLAVE:** calidad del agua, Dinámica de Sistemas, Sistemas Dinámicos, Balance de Materia.

### I. INTRODUCCIÓN

En el marco de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, preocupa la disponibilidad de agua, entendida en términos de cantidad de agua, calidad del agua y acceso al agua [1]. Este documento se enmarca en el contexto de la calidad del agua, la cual, según las diferentes normativas nacionales e internacionales, considera ciertas características para el consumo humano y para otros consumos [2, 3, 4].

Dentro de los diferentes cuerpos de agua existentes, a los cuáles podría establecerse su calidad, la clasificación gruesa establece que estos pueden ser lénticos o lóuticos, refiriéndose así a los cuerpos de agua que permanecen en aparente reposo o no, respectivamente. El enfoque de este documento son los sistemas lénticos, particularmente, los lagos que por sus características pueden ser considerados como tanque en los que existe una mezcla completa.

Tradicionalmente, el modelamiento de la calidad del agua se ha basado en la conservación de la energía (primera ley de termodinámica), la conservación de la masa y la conservación del momento (primera ley del movimiento de Newton) [5]. Las ecuaciones obtenidas para el flujo del fluido y para el transporte de los

contaminantes son las ecuaciones de conservación y la ecuación de continuidad [5]. Algunos documentos representativos del modelamiento de la calidad del agua se aprecian en [5,6].

En este artículo se propone el estudio de la relación sistémica existente entre la concentración de un contaminante en un lago con mezcla completa y la dilución que el contaminante tiene en este cuerpo de agua.

La metodología propuesta para el modelado es la Dinámica de Sistemas, aunque también se presenta los resultados del modelamiento realizando el Balance de Materia.

También se presenta los resultados del análisis dinámico del sistema utilizando la Teoría de los Sistemas Dinámicos. Finalmente, se presentan simulaciones que complementan y confirman los resultados del comportamiento del sistema representado.

El documento está organizado como sigue:

En la Sección II se presenta el modelado con Dinámica de Sistemas. En esta sección se presenta el diagrama

causal, el diagrama de niveles y flujos, las ecuaciones utilizadas en el diagrama de niveles y flujos y el modelo matemático resultante.

En la Sección III se realiza el modelado a partir del Balance de Materia, para lo cual se realiza el modelo de tanques.

En la Sección IV se presentan simulaciones representativas del sistema y se realiza el análisis con Sistemas Dinámicos, estableciendo el punto de equilibrio del sistema y su valor de estabilidad.

En la Sección V se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

## II. MODELADO CON DINÁMICA DE SISTEMAS

Para el modelado con Dinámica de Sistemas hemos elaborado el bucle de realimentación negativo que se presenta en la Figura (1). Siguiendo el diagrama causal, vemos que un aumento en la concentración de un contaminante da como resultado un incremento de los procesos de dilución en el cuerpo de agua, mientras que el incremento de los procesos de dilución en el cuerpo de agua genera la disminución en la concentración del contaminante.

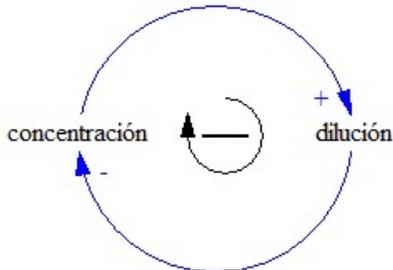


Figura (1): Diagrama causal del sistema.

El diagrama de niveles y flujos resultante de la interpretación del diagrama causal de la Figura (1) se presenta en la Figura (2).

La interpretación matemática del diagrama de niveles y flujos de la Figura (2) se presenta a continuación.

1. Ecuaciones de nivel: En este trabajo se ha propuesto que la única variable de estado del sistema sea la concentración de un contaminante  $C$ . El cambio infinitesimal de la concentración del contaminante  $C$  con respecto al tiempo  $t$  se ha definido como la diferencia entre el vertimiento  $\lambda$  y la dilución  $D$

alcanzada en los diferentes procesos de dilución del sistema:

$$\frac{dC}{dt} = \lambda - D$$

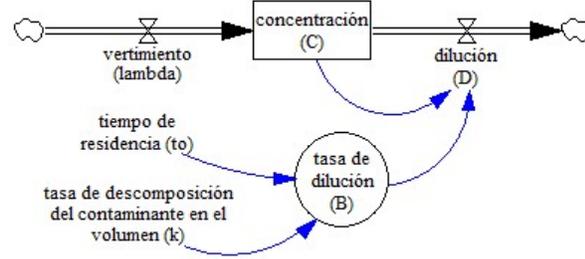


Figura (2): Diagrama de niveles y flujos del sistema.

2. Ecuaciones de flujo: los flujos (razones de cambio) del sistema son el vertimiento  $\lambda$  y la dilución  $D$ . El vertimiento  $\lambda$  se ha considerado como un valor constante estrictamente positivo del sistema, es decir,  $\lambda \in \mathbb{R}^+$ , mientras que la dilución se considera proporcional a la concentración del contaminante vertido en el cuerpo de agua, con constante de proporcionalidad  $B$ , que se denominará la tasa de dilución del sistema, como se muestra a continuación:

$$D = B \cdot C$$

3. Ecuaciones auxiliares: la tasa de dilución  $B$  depende del tiempo de residencia  $t_0$  del contaminante en el cuerpo de agua y de una tasa de descomposición intrínseca  $k$  del contaminante, es decir,

$$B = \frac{1}{t_0} + k$$

De este modo, se obtiene la ecuación diferencial que se presenta a continuación:

$$\frac{dC}{dt} = \lambda - BC$$

Esta ecuación diferencial será lo que denominemos el modelo matemático de un contaminante con concentración  $C$  en un lago completamente mezclado.

Al resolverse analíticamente la ecuación diferencial utilizando la técnica de separación de variables o la solución general de una ecuación diferencial lineal, se obtiene:

$$C(t) = \frac{\lambda}{B}(1 - e^{-Bt}) + C(0)e^{-Bt}$$

Esta ecuación nos permite establecer para cualquier valor del tiempo  $t$ , la concentración del contaminante  $C$  en un lago completamente mezclado, a partir del valor del vertimiento  $\lambda$  y de la tasa de dilución  $B$ .

### III. MODELADO A PARTIR DEL BALANCE DE MATERIA

Para destacar el resultado obtenido, en esta sección realizaremos el modelamiento de la calidad del agua de un lago completamente mezclado, utilizando la técnica tradicional de modelamiento de calidad de aguas: modelado a partir del Balance de Materia.

El Balance de Materia que se realiza corresponde al balance del sistema presentado en la Figura (3), en el que se considera a un lago completamente mezclado como un tanque que tiene como entradas el caudal de cuerpos de agua lóxicos  $Q_R$  y el caudal de los vertimientos realizados al lago  $Q_V$ . Cada uno de estos caudales puede tener una concentración del contaminante que será estudiado:  $C_R$  y  $C_V$  para la concentración del contaminante en el río y en el vertimiento, respectivamente.

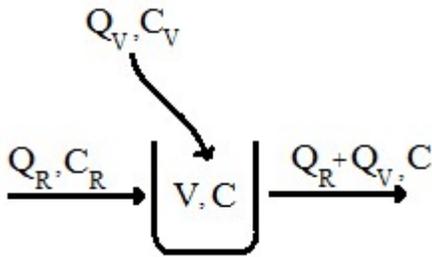


Figura (3): Diagrama de tanques para la realización del Balance de Materia.

Las salidas se representan como la suma de los caudales de entrada. La concentración del contaminante en la salida  $C$ , corresponde al valor de la concentración del contaminante en el lago, debido a la mezcla completamente que hemos supuesto para este tanque.

De esta manera, el balance es como se presenta a continuación:

$$V \cdot \frac{d}{dt} C = Q_R C_R + Q_V C_V - (Q_R + Q_V) C - k V C$$

Las salidas se representan como la suma de los caudales de entrada. La concentración del

contaminante en la salida  $C$ , corresponde al valor de la concentración del contaminante en el lago, debido a la mezcla completamente que hemos supuesto para este tanque.

De esta manera, el balance es como se presenta a continuación:

La tasa  $k$  corresponde a una tasa de descomposición natural del contaminante. Si consideramos.

$$W = Q_R C_R + Q_V C_V$$

$$t_o = \frac{V}{Q_R + Q_V}$$

Donde  $W$  es la carga contaminante y  $t_o$  el tiempo de residencia del contaminante en el volumen  $V$ , obtenemos:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{W}{V} - \frac{C}{t_o} - kC$$

El cociente  $W/V$  corresponde al valor constante de vertimiento que denominaremos  $\lambda$ , llegando a la ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = \lambda - \left(\frac{1}{t_o} + k\right) C$$

El factor que acompaña a la variable  $C$  corresponde a la tasa de dilución  $B$  del contaminante en el cuerpo de agua,

$$B = \frac{1}{t_o} + k$$

De modo que obtenemos la ecuación diferencial que se presenta a continuación:

$$\frac{dC}{dt} = \lambda - BC$$

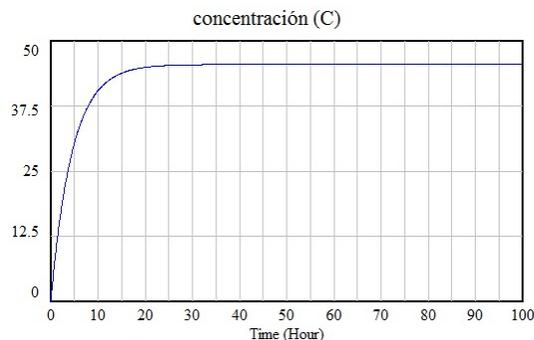
Que se corresponde con la ecuación diferencial obtenida utilizando la metodología de la Dinámica de Sistemas.

### IV. SIMULACIONES Y ANÁLISIS CON SISTEMAS DINÁMICOS

Las simulaciones realizadas, que se presenta a continuación, fueron realizadas utilizando la versión gratuita del software Vensim, fijando el método

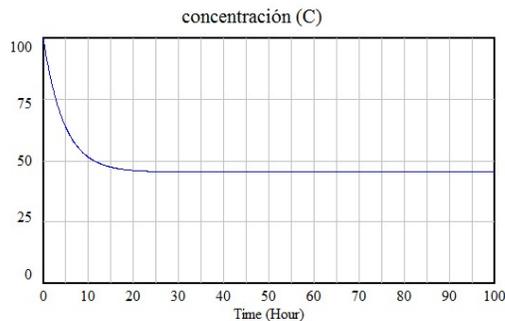
numérico Runge-Kutta 4 automático integrado al software y  $time\ step = 0,0625$ .

En la Figura (4) vemos que si la dilución del sistema no es suficiente, la concentración del contaminante con razón de cambio constante hará incrementar la concentración hasta un valor tope  $\bar{C} = \lambda/B$ , que es el punto de equilibrio del sistema. El punto de equilibrio fue calculado igualando el campo vectorial con cero. En este caso se dice que el punto de equilibrio es estable. En la Figura (5) vemos ahora que si la dilución es suficiente, afirmación que se puede asociar a la capacidad de resiliencia del lago, el contaminante tenderá nuevamente a un valor de equilibrio inferior al valor de concentración de la condición inicial.



"concentración (C)": Current

Figura (4): Concentración del contaminante en aumento.



"concentración (C)": Current

Figura (5): concentración del contaminante en decrecimiento.

Los valores de estabilidad se calculan a partir de los autovalores del campo vectorial, que en este caso corresponde a la realización de la siguiente cuenta:

$$J(C) = \frac{\partial}{\partial C} \left( \frac{dC}{dt} \right) = \frac{d}{dC} (\lambda - BC) = -B < 0$$

Donde  $J$  es la jacobiana que para el caso unidimensional es la derivada ordinaria con respecto a  $C$  del campo vectorial. Dado que  $B$  es un valor constante estrictamente positivo, tendremos que  $-B$  es un valor estrictamente negativo que se corresponde con el autovalor del campo vectorial y esto significa, de

acuerdo con la teoría de los sistemas dinámicos, que el sistema tiene en el punto  $C = \lambda/B$  su único punto de equilibrio estable.

De este modo, podemos entender que, mientras existe un vertimiento continuo de contaminantes en el cuerpo de agua, tendremos una tendencia del sistema al valor de equilibrio  $C = \lambda/B$ , lo cual a su vez significa que bajo la existencia del vertimiento constante, el contaminante siempre estará presente en el cuerpo de agua, aun cuando la dilución del sistema fuese muy buena, porque el cociente entre las cantidades estrictamente positivas  $\lambda$  y  $B$  es estrictamente positiva.

## V. CONCLUSIONES

El modelamiento realizado con Dinámica de Sistemas para la calidad del agua en un lago completamente mezclado se corresponde con el modelamiento que se realiza cuando se utiliza el Balance de Materia.

El análisis con Sistemas Dinámicos de la ecuación diferencial obtenida en el ejercicio de modelamiento con Dinámica de Sistemas nos permite concluir que para un vertimiento constante y continuo sobre el cuerpo de agua, siempre será posible encontrar trazas del contaminante, de forma independiente a la capacidad de resiliencia del lago o al sistema de depuración que sea utilizado.

## VI. REFERENCIAS

- [1] CARE Internacional-Avina. Programa unificado de fortalecimiento de capacidades (2012). Módulo 8: Gestión Integrada del recurso Hídrico. Cuenca, Ecuador.
- [2] Decreto nacional 1575 de 2007 (Colombia) por el cual se establece el sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- [3] NOM-127-SSA1 (México) sobre la calidad que debe tener el agua potable.
- [4] Organización Mundial de la Salud (2006). Guías para la calidad del agua potable. Vol. 1. Tercera edición.
- [5] James A. (1993). An introduction to water quality modeling. Editorial Wiley.
- [6] Moneris M. y Doménech P. (2001). Modelación de la calidad del agua. Universidad Politécnica de Valencia.

## 66. ENVIRONMENTAL AND SECURITY CHALLENGES OF ELECTRICITY MARKETS

**SEBASTIAN ZAPATA, CARLSO JAIME FRANCO**

Universidad Nacional de Colombia, Medellín Colombia  
szapatar@unal.edu.co, cjfranco@unal.edu.co

**ISAAC DYNER REZONZEW**

Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano, Bogotá - Colombia  
idyener@yahoo.es

### ABSTRACT

One of the major concerns of policy makers in the power industry is both security of supply and low electricity cost to consumers, especially nowadays with a larger share of renewable energies worldwide (e.g. solar PV and wind energy). In this context, system reliability might be in conflict with economic efficiency and/or environmental protection, thus increasing problem complexity. This paper uses system dynamics modelling to analyse policy that aims at increasing the penetration of renewables and how these energies affect system reliability.

In this context, and given multiple uncertainties that include the evolution of technology and its capital cost, scenario analysis has been considered for investigating different, extreme, though plausible futures. Simulations, under extreme scenarios, help in assessing the effects of policy incentives to solar PV and wind technologies in current electricity markets. This paper concludes that for the Colombian case, the potential of renewable energies seems promising, given the fast learning curves of these technologies and their particular complementarity

**KEYWORDS:** security of supply, electricity markets, renewable energies, system dynamics

### I. INTRODUCCIÓN

El suministro y consumo de electricidad son considerados como elementos esenciales para la actividad económica tanto en países desarrollados como en aquellos en vía de desarrollo [1]. Ya que el continuo y constante suministro de energía eléctrica se considera como una pieza fundamental en la economía y el desarrollo de los países [2].

En un inicio los mercados eléctricos eran mercados centralizados estatales ya que se consideraba los mercados eléctricos como monopolios naturales, se tenía la creencia de que al ser un monopolio y tener un despacho centralizado se tendría una mayor eficiencia y menores precios [3]. Pero estos esquemas de monopolio llevaron a crisis causadas por falta de inversión en capacidad de generación, debido a que las empresas operaban de forma ineficiente, con sobrecostos los cuales eran asumidos por el consumidor final, provocando racionamientos de

electricidad incurriendo en altos costos para el país afectado [4], [5]. Tales ineficiencias estaban relacionadas principalmente con decisiones que ignoraban, en gran medida, los criterios de la eficiencia y la calidad del servicio [6]. Dado lo anterior se comenzó la desregulación de los mercados eléctricos en la década de 1980 buscando una mayor eficiencia, reducción en los precios y mayor inversión en capacidad [7].

Con la desregulación surgió una pregunta: ¿quién es responsable de la seguridad del suministro en un mercado eléctrico? Bajo los viejos sistemas centralizados, estaba claro que la responsabilidad recae en el estado. Pero luego de la liberalización del mercado no se tenía claro quién era el responsable de la seguridad de suministro [2], [6], [8]

La falta de conocimiento acerca de quién era la responsabilidad de la seguridad de suministro en los mercados que se habían descentralizado, causó que los generadores no invirtieran en capacidad para satisfacer

la creciente demanda, por la alta incertidumbre en los precios de electricidad y el comportamiento de la demanda [9], [10],[11], [12]

Dado el problema mencionado nombrado en el párrafo anterior, el regulador del mercado creó políticas las cuales buscaban que se prestara un servicio eficiente, confiable y a bajo costo. Sin que se presentaran problemas de un sistema no seguro que incluye fuertes subidas de los precios de la energía, reducción de la calidad (por ejemplo, caídas de tensión), interrupciones de suministro repentinos e interrupciones a largo plazo de la oferta buscando así seguridad de suministro en el sistema [13].

Aparte de los problemas mencionados anteriormente, se suma el cambio climático por las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), lo cual ha provocado la reacción de los gobiernos para tomar medidas enfocadas disminuir las GEI, estas medidas pretenden transformar las formas de consumo y producción tradicionales de los sectores más contaminantes; dentro de estas medidas se encuentra la fijación de metas de reducción de emisiones y de incremento de generación de energía renovable [14]. Por lo cual se ha visto un incremento en la generación renovable ya que los gobiernos han actuado implementando estrategias para favorecer la expansión de dicha capacidad [15].

Con base en lo anterior se plantea, ¿Cuál es el efecto en la seguridad de suministro con la creciente instalación en energías renovables? En el sector eléctrico cuando se aplican diversos instrumentos para fomentar el despliegue de generación renovable. Se deben armonizar los siguientes elementos: (a) Tener un mercado de electricidad basado en fuentes de generación bajas en carbono. (b) garantizar la seguridad de suministro y la adecuación del sistema (c) garantizar un costo de la electricidad accesible para los consumidores. Para algunos países el cumplimiento simultáneo de estos objetivos es difícil debido a que las tecnologías renovables deben ser subvencionadas implicando un mayor costo para los consumidores y algunas son de naturaleza intermitente por lo que aportan poco a la seguridad de suministro [16]. Se tienen casos exitosos en donde la capacidad instalada ha crecido como es el caso de España, en el cual se tiene un 21% de la capacidad en energía eólica, este aumento en la capacidad instalada de energías renovables llevado a un aumento en los precios por los altos subsidios que se le han dado a la generación renovable [17]. Pero la entrada de las energías

renovables en España ha causado que se desplace la generación convencional, debido a que se tienen precios de 0 c€/kWh, con lo cual el sistema pierde confiabilidad creando problemas en la seguridad de suministro en el largo plazo [16].

Este artículo está organizado de la siguiente manera, a continuación se muestra la revisión de literatura, en la sección 3 se describe el caso de aplicación, en la sección 4 se describe el modelo en desarrollo, en la sección 5 se describen los diferentes escenarios y se muestran los resultados, finalmente se concluye acerca del trabajo que en desarrollo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

La seguridad de suministro, la penetración de las energías renovables y la simulación ha sido un problema ampliamente estudiado, a continuación se describen los principales artículos encontrados sobre estos temas.

Del Rio, 2009, [18] utilizando análisis cualitativo se estudia el efecto de los incentivos para las energías renovables en los costos del sistema, en este artículo se concluye que los incentivos para las energías son ineficientes y aumentan los costos del sistema, ya que no se hacen de forma eficiente.

Franco y otros, 2015, [19] utilizando dinámica de sistemas estudian la reforma para promover energías renovables en Gran Bretaña en este artículo se concluye que al aumentar los incentivos para las energías renovables afectan la seguridad de suministro si no se aplican políticas conjuntas para aumentar la seguridad de suministro. Aunque la combinación de las políticas para aumentar la seguridad de suministro y las renovables en conjunto se tiene un aumento en el precio.

Rodilla y otros, 2011 estudian el cargo por confiabilidad en Colombia utilizando dinámica de sistemas, concluyendo que el Cargo por Confiabilidad cumple claramente su objetivo de captar nuevos recursos de inversión en generación para cumplir con los requisitos de energía firme.

Ford, 1999, Larsen and Bunn, 1999, de Vires y Heijnen [7], [20], [21], utilizando dinámica de sistemas estudian los ciclos de inversión en capacidad de generación de electricidad, concluyendo que los ciclos de inversión se

observan claramente afectado los precios y la seguridad de suministro.

Lise y otros, 2013 [22], utilizando dinámica de sistemas estudian el efecto de los paneles solares en la seguridad de suministro de un sistema eléctrico concluyendo que el aumento de las energías renovables viento y sol causa diferencias entre la capacidad instalada y la demanda pico. El balance entre la oferta y la demanda es un reto que necesita un sistema flexible.

Beluco y otros, 2012, Delucchi y Jacobson [23], [24] estudian y muestran la complementariedad entre las diferentes fuentes de energía renovable, concluyendo que estas energías son complementarias y pueden ayudar a garantizar la seguridad de suministro.

En la siguiente sección se muestra el caso de aplicación escogido.

### III. MERCADO ELECTRICICO COLOMBIANO

A partir de 1994 en Colombia se replanteó el manejo del sector eléctrico Colombiano y se otorgaron libertades a la iniciativa privada a través de las leyes 142 y 143, las cuales fueron creadas con el objetivo de lograr eficiencia en la prestación del servicio de electricidad y la liberalización del sector; permitiendo la competencia y dejando atrás el funcionamiento centralizado que se había aplicado hasta entonces [25], [26].

Buscando una prestación del servicio eficiente y competitivo, el mercado mayorista adoptó un diseño similar al modelo del mercado inglés de la época, acogiendo dos modalidades para negociación de la electricidad: los contratos en el largo plazo y la bolsa de energía –Mercado Pool- en el corto plazo [26]. La bolsa funciona bajo el mecanismo de precio marginal, asignando la energía entre los generadores por orden de mérito (de menor a mayor costo variable), en donde la demanda asume un rol pasivo en la formación de los precios [27].

Debido a que el sistema en su mayor parte está compuesto por hidroeléctricas es vulnerable a la variabilidad climática, en especial al Fenómeno del niño (ENSO) como ocurrió en 1991-1992, con lo que el gobierno Colombiano ha creado mecanismos para el respaldo en épocas de sequía buscando mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda [28]. Por esta variabilidad climática se tienen precios volátiles, con lo cual son necesarios incentivos para la inversión en

nueva capacidad. En la Fig. 1 se observa el comportamiento del precio de electricidad en Colombia.



Figura 1. Precios mensuales promedio de electricidad en el mercado de corto plazo [29].

La alta dependencia a la generación hidráulica hace que el problema de las inversiones en nueva capacidad de generación se agrava, debido a la incertidumbre asociada a la disponibilidad del recurso la cual produce una volatilidad en los precios y, por ende, una gran variabilidad de los ingresos de los generadores [30]. Con lo cual se han implementado tres mecanismos de capacidad para garantizar la adecuación del sistema y la seguridad de suministro. El Cargo por Potencia y Respaldo entre 1994 y 1996 el Cargo por Capacidad entre 1997 y 2006, finalmente en diciembre de 2006 entra en funcionamiento el Cargo por Confiabilidad, mecanismo aún vigente [31].

#### A. Energías renovables en Colombia

En Colombia la regulación de las energías renovables se da por medio de la ley 1715 de 2014 en la cual el gobierno busca regular la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, impulsar el desarrollo de tecnologías que aprovechen de manera eficientes los recursos naturales con el menor impacto ambiental y social posible, como parte de la meta estatal de ser una nación competente en los mercados. La principal motivación fue el potencial de las energías renovables en Colombia que es descrito a continuación

Colombia tiene potencial para las energías renovables, el potencial de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCHs) corresponde a 25.000 MW. En energía eólica el cual sería en la región de la Guajira corresponde a 18.000 MW, donde los regímenes de viento son catalogados como los mejores de Suramérica con vientos sobre los 10 mts/s [32], [33]. La radiación solar promedio en Colombia es de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, y en la Guajira es de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, el doble de la radiación solar promedio que en Alemania la cual es de 2.9 kWh/m<sup>2</sup>/día [33].

Junto con el potencial de Colombia para las energías renovables, se ha encontrado que las energías eólica, solar e Hidroelectricidad son complementarias [34]. Como se puede observar en la Fig. 2 y en la Fig. 3, con lo cual se podría dar firmeza al sistema eléctrico con las energías renovables.

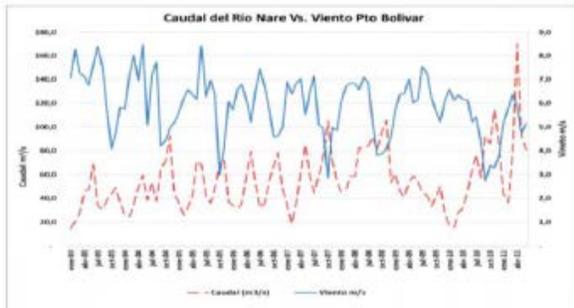


Figura 2. Vientos promedio Puerto Bolívar vs Caudal Medio Río Nare.

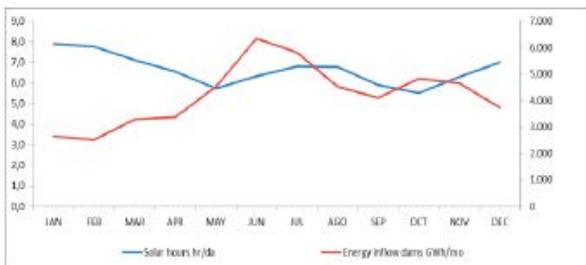


Figura 3. Aportes medios de los caudales vs horas de sol promedio nacional tomado [29].

En esta sección se describió el mercado eléctrico colombiano, mostrando el potencial que tiene Colombia para las energías renovables, en la siguiente sección se da la descripción del modelo.

#### IV. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Para el análisis del problema de la seguridad de suministro en Colombia se propone un modelo en dinámica de sistemas, en el cual se puedan analizar los componentes que están presente en el mercado eléctrico colombiano, como lo son la oferta, la capacidad instalada, la demanda, la generación de electricidad y se observa como estos elementos interactúan entre ellos, para esto en la Fig. 4 se muestra la hipótesis dinámica del mercado eléctrico colombiano, considerando la seguridad de suministro.

El ciclo B1 es el ciclo de la demanda y el precio, como una mayor demanda lleva a tener menos margen aumentando el precio y luego presentando una reducción de la demanda.

El ciclo B2 indica que a mayor margen de energía firme menos energía firme se requerirá. Se entiende entonces que con un margen inferior a cero, se requiere nueva energía firme para cubrir la demanda objetivo del sistema, y por ende se realiza una subasta para asignar obligaciones de energía. En consecuencia, al haber más subastas de energía habrán más incentivos de inversión, los cuales están dados primero por los compromisos de energía firme adquiridos que hacen que se construya nueva capacidad de generación y segundo por los pagos que reciben los generadores por estos compromisos.

El ciclo B3 explica cómo es el proceso de formación de las subastas, el cual es un costo que será usado para efectos de cotización en la bolsa y que deben asumir los usuarios del parque generador eléctrico colombiano para que se les garantice el suministro de electricidad

El ciclo B4 explica como el precio de electricidad afecta la inversión en nueva capacidad y como esta nueva capacidad afecta el margen disminuyendo el precio.

El ciclo R1 está conformado por partes de los ciclos de balance 1 y 2, los cuales explican la relación entre la inversión en generación, el precio de la electricidad, la energía firme, la demanda de electricidad, el margen del sistema y el margen de energía firme.

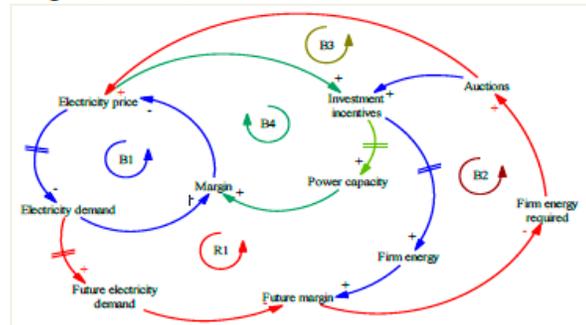


Figura 4. Diagrama causal mercado eléctrico colombiano.

En la Fig. 5. Se muestra la versión resumida del diagrama de flujos y niveles. Esta muestra la forma en que se hace la inversión la cual puede ser por rentabilidad o por el mecanismo de capacidad.

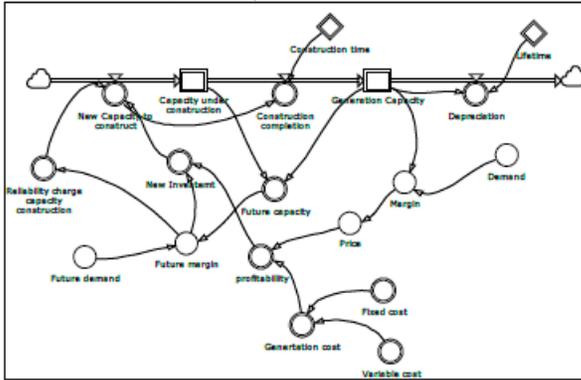


Figura 5. Diagrama de flujos y niveles del mercado eléctrico colombiano.

En esta sección se dio una breve descripción del modelo, en la siguiente se mostraran los escenarios y los resultados preliminares.

### VI. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los diferentes escenarios y su descripción.

Estado actual(BAU)	Micro-generation (MG)	Mercado desregulado(EM)
<input type="checkbox"/> Mercado de capacidad	<input type="checkbox"/> Subsidio para los paneles solares	<input type="checkbox"/> Sin mercado de capacidad
<input type="checkbox"/> Política debil energías renovables	<input type="checkbox"/> Mercado de capacidad	<input type="checkbox"/> Política debil hacia las energías renovables
	<input type="checkbox"/> Política hacia las renovables fuerte	

En las Fig. 6, Fig. 7 y Fig. 8 se observa el precio de electricidad, se puede observar que es necesario de un mecanismo para aumentar la capacidad en inversión ya que en el escenario que no se tienen políticas se tienen mayores precios, mayores emisiones y margen negativo, lo cual puede provocar que se tengan apagones.

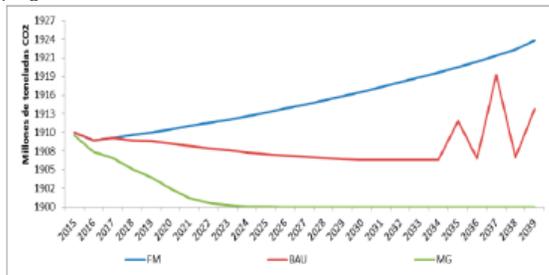


Figura 6. Emisiones de CO2 de los diferentes escenarios.

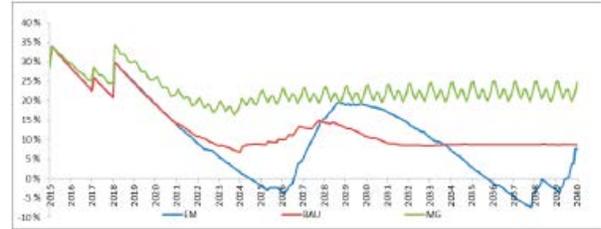


Figura 7. Margen de energía firme de los diferentes escenarios.

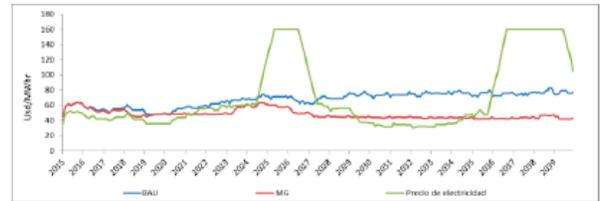


Figura 8. Precio de electricidad diferentes escenarios.

En esta sección se mostraron los resultados que se tienen al momento, en la siguiente sección se muestran las conclusiones.

### VII. CONCLUSIONES

En esta sección se dan las conclusiones del trabajo presentado del modelo que se encuentra actualmente en desarrollo.

Se puede observar que cuando no se tiene cargo por confiabilidad el sistema colapsa y se presenta un margen negativo, presentándose presentando riesgos para la seguridad de suministro, y altos precios, ya que no se tienen las señales para la inversión en nueva capacidad.

En el tercer escenario se logra tener un sistema en el cual el margen de energía se estabiliza debido a la entrada de renovables y se tienen bajos precios ya que las energías solar y eólica son complementarias con energía hidráulica.

Luego de analizar el sistema aplicando el cargo por confiabilidad ayuda a tener una estabilización del precio, aunque produzca sobre-instalación provocando capacidad ociosa que solo es usada para satisfacer la demanda pico. Se hace necesario implementar otras políticas que ayuden a disminuir la demanda disminuyendo la variabilidad del precio.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias por el apoyo financiero para la realización de este proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] S. C. Bhattacharyya, "Fossil-fuel dependence and vulnerability of electricity generation: Case of selected European countries," *Energy Policy*, vol. 37, no. 6, pp. 2411–2420, Jun. 2009.
- [2] P. Rodilla and C. Battle, "Security of electricity supply at the generation level: Problem analysis," *Energy Policy*, vol. 40, pp. 177–185, Jan. 2012.
- [3] S. Stoft, *Power System Economics Designing Markets for Electricity*. 2002.
- [4] M. Jaccard, "Oscillating currents the changing rationale for government intervention in the electricity industry," vol. 23, no. 7, pp. 579–592, 1995.
- [5] R. Ponzio, I. Dyer, S. Arango, and E. R. Larsen, "Regulation and development of the Argentinean gas market," *Energy Policy*, vol. 39, no. 3, pp. 1070–1079, Mar. 2011.
- [6] D. M. Newbery, "Regulatory challenges to European electricity liberalisation," vol. 9, pp. 9–43, 2002.
- [7] E. R. Larsen and D. W. Bunn, "Deregulation in electricity: understanding strategic and regulatory risk," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 50, pp. 337–344, 1999.
- [8] E. Lieb-Dóczy, A. R. Börner, and G. MacKerron, "Who secures the security of supply? European perspectives on security, competition, and liability," *Electr. J.*, vol. 16, pp. 10–19, 2003.
- [9] A. Creti and N. Fabra, "Supply security and short-run capacity markets for electricity," *Energy Econ.*, vol. 29, no. 2, pp. 259–276, Mar. 2007.
- [10] B. Kruyt, D. P. van Vuuren, H. J. M. de Vries, and H. Groenenberg, "Indicators for energy security," *Energy Policy*, vol. 37, no. 6, pp. 2166–2181, 2009.
- [11] P. L. Joskow and E. Kahn, "A quantitative analysis of pricing behavior in California's wholesale electricity market during summer 2000," *Energy J.*, vol. 23, no. 4, pp. 1–35, 2002.
- [12] C. Vázquez, M. Rivier, and I. J. Pérez-arriaga, "A Market Approach to Long-Term Security of Supply," vol. 17, no. 2, pp. 349–357, 2002.
- [13] M. Grubb, L. Butler, and P. Twomey, "Diversity and security in UK electricity generation: The influence of low-carbon objectives," *Energy Policy*, vol. 34, no. 18, pp. 4050–4062, Dec. 2006.
- [14] R. Haas, C. Panzer, G. Resch, M. Ragwitz, G. Reece, and A. Held, "A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 2, pp. 1003–1034, 2011.
- [15] J. K. Kaldellis and D. Zafirakis, "Optimum energy storage techniques for the improvement of renewable energy sources-based electricity generation economic efficiency," *Energy*, vol. 32, no. 12, pp. 2295–2305, 2007.
- [16] F. Moreno and J. M. Martínez-Val, "Collateral effects of renewable energies deployment in Spain: Impact on thermal power plants performance and management," *Energy Policy*, vol. 39, no. 10, pp. 6561–6574, Oct. 2011.
- [17] J. Schallenberg-Rodriguez and R. Haas, "Fixed feed-in tariff versus premium: A review of the current Spanish system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 293–305, Jan. 2012.
- [18] P. Del Río, "Interactions between climate and energy policies: the case of Spain," *Climate Policy*, vol. 9, no. 2, pp. 119–138, 2009.
- [19] C. J. Franco, M. Castaneda, and I. Dyer, "Simulating the new British Electricity-Market Reform," *Eur. J. Oper. Res.*, 2015.
- [20] A. Ford, "Cycles in competitive electricity markets: a simulation study of the western United States," vol. 27, pp. 637–658, 1999.
- [21] L. de Vries and P. Heijnen, "The impact of electricity market design upon investment under uncertainty: The effectiveness of capacity mechanisms," *Util. Policy*, vol. 16, no. 3, pp. 215–227, Sep. 2008.
- [22] W. Lise, J. van der Laan, F. Nieuwenhout, and K. Rademakers, "Assessment of the required share for a stable EU electricity supply until 2050," *Energy Policy*, vol. 59, pp. 904–913, 2013.
- [23] A. Beluco, P. Kroeff de Souza, and A. Krenzinger, "A method to evaluate the effect of complementarity in time between hydro and solar energy on the performance of hybrid hydro PV generating plants," *Renew. Energy*, vol. 45, pp. 24–30, 2012.
- [24] M. a. Delucchi and M. Z. Jacobson, "Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies," *Energy Policy*, vol. 39, no. 3, pp. 1170–1190, 2011.
- [25] El Congreso de Colombia, "Ley 142 de 1994," *D. Of.*, no. 41.433, p. 597, 1994.
- [26] I. Dyer and C. J. Franco, "Consumers' bounded rationality: The case of competitive energy markets," in *Systems Research and Behavioral Science*, 2004, vol. 21, no. 4, pp. 373–389.
- [27] I. Dyer and C. Franco, "Can a Reliability Charge Secure Electricity Supply? An SD-based assessment of the Colombian power market," *Proceedings of the 2007 International Conference of the System Dynamics Society*. 2007.
- [28] P. Rodilla, C. Battle, J. Salazar, and J. J. Sánchez, "Modeling generation expansion in the context of a security of supply mechanism based on long-term

auctions. Application to the Colombian case," *Energy Policy*, vol. 39, no. 1, pp. 176–186, Jan. 2011.

[29] xm,  
"http://informacioninteligente10.xm.com.co/Pages/ayuda.aspx,"

http://informacioninteligente10.xm.com.co/Pages/ayuda.aspx, 2015. .

[30] C. Batlle and I. J. Pérez-Arriaga, "Design criteria for implementing a capacity mechanism in deregulated electricity markets," *Util. Policy*, vol. 16, no. 3, pp. 184–193, Sep. 2008.

[31] Dyner, Franco and Arango, "El mercado mayorista de electricidad colombiano," *Colección Fac. Minas*, 2008.

[32] J. Perez, E. Osorio, "Energía, pobreza y deterioro ecológico en Colombia: introducción a las energías alternativas," *Medellín Estrategias y Desarro.*, 2002.

[33] UPME, "PLAN DE EXPANSION DE REFERENCIA GENERACION - TRANSMISIÓN," 2014.

[34] I. Franco, J. Dyner, "EVALUACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE ELECTRICIDAD, UTILIZANDO DINÁMICA DE SISTEMAS," *Energética*, pp. 75–84, 2004



## 67. DEVELOPING A REGIONAL CIRCULAR VALUE ECOSYSTEM: THE CASE OF HIGUERAS, MEXICO

**EDUARDO AGUIÑAGA, CARLOS SCHEEL**

Tecnológico de Monterrey (ITESM), Monterrey, México  
aguinaga.eduardo@gmail.com, cscheel@itesm.mx

### ABSTRACT

Regions must be redesigned in order to be sustainable, economically competitive and socially inclusive. The achievement of sustainable wealth is a complex phenomenon that includes multiple players, conditions and uncertain links among stakeholders. In this paper, we present how to assemble a “circular connected value ecosystem” and its behavior, implemented to create sustainable wealth among synergies of different stakeholders in a region. The Regional Circular Value Ecosystems (RCVE) is a synergic space where products, residues and wastes (R/W) are interconnected and transformed into valuable products.

To be able to observe the dynamics of all synergies within a region is a complex problem that must be modeled before decisions are taken. A case study of the village of Higuera, Mexico is selected to support this new approach to achieve sustainable wealth creation that can be replicated for developing countries. The case includes the system dynamics modeling of the main economic activities within the region. Simulation results supports our hypothesis, that the proper systemic seizing of the potential of R/W through the use of innovation with a systemic approach, new disruptive business models and appropriate technology and processes, is an effective way to transform a region into a self-sustainable community.

**KEYWORDS:** Systems dynamics, circular economy, sustainable wealth creation, residues, wastes, zero waste

### I. INTRODUCCIÓN

A humanidad ha alcanzado su pleno desarrollo. Como un bosque maduro, no hay crecimiento físico alguno ocurriendo, lo cual demanda nuevas formas de crear prosperidad [1]. Este pleno crecimiento se refleja en la producción progresiva de residuos, la contaminación del agua y los suelos, así como el incremento en emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas por tanto el exceso de consumo, como por la intensa industrialización. Este crecimiento insostenible ha llevado a la destrucción del hábitat natural y su sobreexplotación, la contaminación y el cambio climático global, junto con la reducción considerable de los recursos naturales. En la actualidad el planeta es incapaz de recuperar por medio naturales la mayor parte de sus recursos, siendo víctima de una considerable falta de resiliencia. En gran medida, los residuos sólidos producidos, son los responsables de esta problemática.

Aunado a lo anterior, los países en vías de desarrollo son más susceptibles a sufrir las consecuencias derivadas de un mal manejo de los residuos sólidos, los cuales atentan tanto contra el ambiente como en contra de la salud pública [2].

Dada la ineficiencia de las autoridades para lidiar con esta situación, así como del gradual incremento en la generación de residuos, existe una creciente necesidad de hacer frente a esta problemática a través de un mecanismo eficaz, innovador, sostenible y radical [3]-[5].

En el marco de lo anterior, en la presente investigación proponemos un nuevo paradigma económico basado en una visión sistémica, sostenible y circular. Este paradigma tiene como eje la correcta planificación de las regiones en donde los residuos y basuras (R/B) generadas dentro de estas, son utilizados para la creación de valor sostenible (económico, social y ambiental). En otras palabras debemos transformar los

R/B derivados del consumo urbano y los ciclos de productos lineales en productos ambientalmente benéficos y recuperables, económicamente competitivos y viables, así como socialmente responsables a través de ciclos sostenibles [6], [7].

En el presente artículo, exponemos cómo construir un "ecosistema regional de valor circular" el cual se enfoca en la creación de riqueza sostenible por medio de las sinergias entre los diferentes actores en una región. Este ecosistema interconecta modelos económicos, políticas y estrategias, para crear sistemas de generación de alto valor con un impacto en los tres ejes del desarrollo sostenible.

El documento tiene la siguiente estructura. La sección II presenta una condensada revisión de la literatura existente sobre ecosistemas regionales. Posteriormente la sección III describe la metodología de dinámica de sistemas utilizada en la presente investigación. La sección IV desarrolla el caso de Higuera, México y su modelación con el fin de ejemplificar la construcción de lo que se define como un Ecosistema Regional de Valor Circular. En la sección V exponemos los resultados potenciales a 10 años derivados de la simulación. La sección VI presenta la discusión sobre la valorización de R/B y su impacto a nivel del sistema regional. Finalmente en la sección VII ofrecemos nuestras conclusiones acerca de la construcción de una comunidad auto-sostenible y las ventajas del modelo en cuanto a su uso potencial a largo plazo para la toma de decisiones estratégicas.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La gestión de residuos sólidos se ha abordado desde múltiples perspectivas. Desde enfoques basados en la optimización de un proceso lineal a lo largo de la cadena de producción, hasta el desarrollo de los ecosistemas industriales capaces de reducir el consumo de materiales vírgenes y la creación de vínculos simbióticos de R/B (ver [8]). Desde la optimización en el uso de agua [9], hasta la transformación de R/B en energía [10], la literatura se ha enfocado no solo en procesos de valorización de desperdicios de manera aislada, sino que la unidad de análisis se ha expandido, incluyendo el estudio de ecosistemas industriales [11]-[15]. De manera paralela, estudios sobre ecosistemas industriales donde los R/B se comparten entre todos los actores de la región, han ganado adeptos al ser una nueva tendencia el enfoque de Cero Basura. Cero Basura es una perspectiva holística que tiene como fin

último la utilización de todos los recursos de una región dentro de la misma, sin que se generen desperdicios.

Un ejemplo de estudios enfocados en el cero-basura es el caso de la industria azucarera [10].

Esto último sugiere que debemos cambiar del enfoque ex post o "end of the pipe" por uno ex ante con el fin de lograr niveles de cero emisiones [16] desde el inicio de la conformación de regiones ya sean industriales o residenciales.

Lo anterior demanda avances radicales no solo a nivel de tecnologías sino de sistemas [5]. Acompañado con la ampliación de la unidad de análisis, recientemente se ha comenzado a explorar la implementación de técnicas de modelación dinámica de sistemas (SD) para el análisis del potencial Cero Basura [12] dada su capacidad de lidiar con la complejidad propia de los sistemas. Ejemplos del uso de SD en el campo de ecología industrial pueden ser encontrados en la literatura científica (ver [16]-[21]).

Por último, diversas investigaciones señalan la importancia de la integración de redes industriales y sus stakeholders para el reprocesamiento y valorización de R/B de manera más dinámica [22] y con especial énfasis en la composición de los R/B para su futuro aprovechamiento [10].

Es evidente la existencia de un creciente interés sobre el análisis de las regiones desde una perspectiva de dinámica de sistemas. Más allá del estudio de procesos y productos aislados y estáticos, en la actualidad se ha comenzado a dar mayor énfasis e interés auténtico a las propiedades emergentes derivadas de estas dinámicas entre actores de una región. Por lo tanto es necesario un nuevo enfoque para hacer frente a esta nueva realidad.

Dado lo anterior, proponemos un nuevo modelo donde todas las operaciones económicas regionales se convierten en circulares, con el fin de crear lo que hemos denominado un Ecosistema Regional de Valor Circular (RCVE).

Un RCVE, por sus siglas en inglés, está compuesto por una red de nuevas empresas y/o actividades económicas ya establecidas. Éstas se encuentran vinculadas a través de oportunidades de negocios no habituales basadas en la valorización de R/B a través de conceptos como: (a) modelos de negocio de cascada

y flujos de efectivo múltiples de Economía Azul [12]; (b) ecología industrial [23]; (c) principios de economía circular [24] y (d) modelación dinámica de sistemas [25],[26].

Por medio del amalgamiento de estos conceptos hemos desarrollado un mecanismo llamado Sistema de Ecología Industrial Cero Residuos (ZRIES). El mecanismo ZRIES, sostiene que cada actividad económica y el generador de residuos en la región es capaz de lograr riqueza sostenible a través de una producción limpia, eficaz y eficiente donde los R/B son valorizados creando riqueza sostenible al mismo tiempo que aumenta la capacidad de recuperación natural de la región (resiliencia).

En resumen, ZRIES activa la circularización y encadenamiento de todas las actividades dentro de una región de manera dinámica permitiendo de esta forma que se convierta en auto-sostenible.

### III. METODOLOGÍA

La revisión de literatura sugiere que la SD es la metodología predominante para el estudio de sistemas complejos, tales como regiones. SD representa una metodología capaz de modelar, simular y analizar los problemas de gestión industrial a largo plazo. Asimismo, esta metodología representa una herramienta de análisis útil para hacer frente a la complejidad y el dinamismo de los problemas relacionados a procesos físicos y estrategias de gestión, dado a que se puede aplicar a todo tipo de sistemas de retroalimentación, tales como sistemas ecológicos, sistemas de negocios [26], ambientales y sistemas políticos, entre otros [27].

En el presente estudio, optamos por utilizar SD como metodología dado que puede lidiar con la complejidad de los sistemas de gestión de residuos, así como es capaz de hacer frente tanto la estructura como los efectos resultantes derivados de los cambios en los subsistemas y sus relaciones [28]. Además, SD provee una metodología útil para crear diversos escenarios basados en supuestos y valores de las variables específicas, así como simular cómo el sistema reacciona ante ciertos cambios, por lo que es una valiosa herramienta para comunicar los posibles impactos de las diferentes decisiones. Por último, SD es considerado uno de los métodos para la evaluación de la capacidad de recuperación [29] siendo este un indicador de suma importancia para la investigación.

Por lo anterior, se eligió SD como la metodología más adecuada. SD proporciona un enfoque sistémico el cual puede integrar los aspectos sociales, ambientales y económicos para ser analizados a través del tiempo de manera dinámica [20].

### IV. HIGUERAS, NUEVO LEÓN, MÉXICO

Higueras se encuentra localizada a 58 km al norte de Monterrey, capital del estado de Nuevo León, México. Con una superficie total de 600,2 kilómetros cuadrados, Higueras tiene un clima extremo, con temperaturas que oscilan entre 18°C a 43°C en el verano de -2°C a 10°C en el invierno.

Municipio con de 1,594 habitantes [30] con una creciente necesidad de abastecimiento de alimentos, energía y servicios de salud, Higueras posee una fuerte dependencia económica de la capital dada la escases de oportunidades laborales.

La mayoría de la población carece de una educación ambiental básica respecto al correcto uso y manejo de los recursos naturales, poniendo en peligro su conservación a largo plazo. Dado su reducido tamaño y escasa población, la comunidad de Higueras carece de polos económicos que posibiliten un desarrollo más allá de lo que las actividades primarias como la agricultura pueden ofrecer. Por lo tanto, la emigración de la población es una práctica común y una tendencia a la alza en gran parte de los jóvenes y habitantes en edad productiva. La gran mayoría optan por dirigirse hacia el norte en busca del "sueño americano".

Recientemente una iniciativa para construir una mina de extracción de piedra para la fabricación de ladrillos local fue considerada como una oportunidad para la creación de empleos y así revitalizar la economía regional. La empresa minera prometió más empleos y oportunidades tanto para mano de obra calificada como no calificada. A lo cual activistas ambientales y organizaciones no gubernamentales (ONG) afirmaron que la minera crearía una fuente insostenible de los empleos de trabajo a costa del medio ambiente, ya que las actividades mineras son contaminantes para el medio ambiente [31], así como para la salud humana [32] e insostenible, incluso después de haber sido abandonada [33].

La comunidad de Higueras reconoció que los beneficios que traería a corto plazo la mina no se equiparan a los servicios ambientales intangibles que reciben por parte

del área ecológica de sierra picachos. Por lo tanto, se unieron a los reclamos de las ONGs pero al mismo tiempo que exigieron una solución para la problemática regional alineada a un correcto desarrollo sostenible

Por lo tanto, el desafío es desarrollar un Ecosistema Regional de Valor Circular centrándonos en el fortalecimiento de los siguientes parámetros: (a) capacidad para fortalecer la seguridad alimentaria (a través del cultivo de la mayor parte de sus propios alimentos), (b) recuperación de tierra fértil con el fin de regenerar el medio natural (resiliencia), (c) mejorar la salud mediante el uso correcto y explotación de los recursos naturales regionales y por último, (d) optimar el uso de los recursos hídricos.

La fig. 1 muestra las sinergias entre todos los actores de la comunidad.

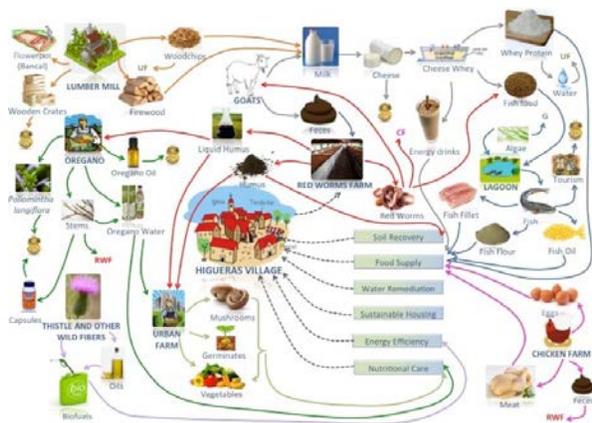


Figura 1. Mapa de sinergias de Higueras

Los jugadores más importantes (subsistemas) basados en su potencial para la creación de riqueza sistémica los conforman: (a) Una plantación de orégano, (b) una fábrica de queso de cabra, (c) el lago del pueblo, (d) huertos urbanos y (e) una granja de pollos. Además, también están representadas las conexiones con un actor que funge como descomponedor (granja de lombrices rojas californianas) el cual regula la transformación de los excesos de residuos y desperdicios en la región.

Todas las partes interesadas y los participantes en las cadenas de producción lineales tienen el potencial de circularizarse creando redes de intercambio de conocimientos y yendo más allá del simple reúso por medio de la aplicación del concepto de upcycling [34] con nuevos procesos y tecnologías.

Estas redes crean un círculo de proveedores-nutrientes-productores- productos-nutrientes, por lo tanto se genera un cierre en los ciclos de valor al mismo tiempo que se genera riqueza sostenible (triple bottom line) para la región [35].

Higueras tiene grandes desafíos por superar para que la región logre restaurar su riqueza económica, tejido social y la capacidad de recuperación del medio ambiente. Por suerte, Higueras tiene ciertas actividades económicas locales las cuales son sujeto del presente estudio, que a través de la tecnología adecuada, nuevos modelos de negocio no usuales, así como mucha creatividad e innovación, tienen el potencial de crear una región auto-sostenible.

En la siguiente sección, se desarrollan tres subsistemas con el fin de simular el potencial de creación de riqueza sostenible basada en los residuos locales y el intercambio de R/B entre los actores de la región.

## V. MODELACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA DE HIGUERAS

El modelo se construyó mediante la integración de datos obtenidos a través de entrevistas con expertos, así como fuentes secundarias y visitas de campo llevadas a cabo entre los meses de febrero y junio del 2014 con el fin de identificar las principales actividades económicas, y los productores de R/B. Después de varias entrevistas no estructuradas con empresarios locales y los habitantes del pueblo de Higueras, se identificaron dos importantes productores y una actividad de transformación: (a) la fábrica de queso de cabra, (b) una plantación de orégano y (c) una granja de lombrices rojas californianas respectivamente.

Habiendo identificado las principales actividades de la región con potencial para la creación de riqueza sostenible, se procedió al análisis de sus cadenas de valor centrándonos en las principales entradas y salidas de materia generadas.

Posteriormente construyeron lo que hemos denominado los sistemas de valor extendido (EVS). Los EVS (Extended Value System) permiten mapear la producción tradicional así como la generación de colaterales (residuos y basuras) para cada proceso de las actividades económicas en la región. El resultado es un diagrama en el que es posible identificar las cantidades y composición de los residuos generados junto con la producción del producto dominante a través



concentración. Los tallos residuales provenientes del proceso de hidrodestilación, los cuales no contienen ningún valor químico, se utilizan como materia prima en el proceso de compostaje en la granja de lombrices rojas. Los tallos que no son hidrodestilados, se encapsulan, proporcionando otro producto derivado de un residuo. Estas cápsulas representan un nutraceutico natural que combate hongos y microbios.

### **B. Fábrica de Queso de Cabra**

La fábrica de queso alberga 130 cabras de raza Alpina y Nubia. Además de producir quesos, recientemente se ha comenzado a producir mantequilla Premium. A lo largo de la cadena de producción de queso y mantequilla, se generan residuos en forma de suero (aguas residuales) que contienen grandes cantidades de proteína disuelta. El suero tiene una alta demanda de oxígeno [39], que en caso de ser vertida en efluentes de agua es altamente contaminante.

Del suero resultante se pueden obtener tres productos de alto valor para la comunidad los cuales son: (a) bebida isotónica (proteica), (b) polvo de proteína de suero de leche y (c) alimento para peces. Este último producto se eligió dada la presencia de un lago local, donde la disponibilidad de peces comestibles así como la presencia de tortugas lo convierte en una fuente de comida así como un atractivo más del turismo local.

Por último, otros dos residuos más se obtienen, uno a partir del proceso de valorización del suero y el otro derivado de la operación de la fábrica. En primer lugar, se obtiene agua residual que sirve para el riego de los huertos urbanos, y en segundo, estiércol de cabra el cual entra en el proceso de compostaje del gusano rojo como una materia prima de alta calidad.

### **C. Lago Higuera**

El lago de Higuera cuenta con peces y tortugas, lo que representa un atractivo turístico, así como una fuente potencial de alimento. Por otra parte, el lago tiene el espacio y las condiciones para generar dos emprendimientos. Por un lado una piscifactoría productora de filete de bagre y una granja de microalgas, materia prima para la alimentación animal dado su alto contenido en proteínas. Por lo anterior, el lago tiene como insumo principal la comida de peces y provee a su vez alimento para la comunidad y el ganado local.

### **D. Granja de Lombrices Roja Californiana**

La granja de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) genera tres productos principales: (a) humus sólido, (b) lixiviado (humus líquido) y (c) carne de gusano. Para su funcionamiento, la granja requiere tan solo tres materias primas además de mano de obra. Estas son agua, estiércol y materia orgánica, las cuales son provistas en su totalidad localmente y de manera gratuita.

El humus sólido y los lixiviados se producen de forma concomitante mediante el proceso de lombricomposta. Ambos son considerados los mejores fertilizantes naturales ya que contienen todos los micro y macronutrientes necesarios para la agricultura. Por consiguiente estos dos productos son clave para la el enriquecimiento del sustrato siendo la base para la remediación del suelo erosionado y su revegetación [40].

Finalmente la carne de gusano, derivada del exceso de población de gusanos sirve como alimento para peces y tortugas del lago.

### **E. Huertos Urbanos**

Diversos huertos urbanos se están desarrollando en Higuera con el fin de robustecer los tres ejes de la sostenibilidad. En el aspecto económico, los huertos urbanos son centros de producción de alimentos para el autoconsumo el cual aumenta su independencia alimentaria, y donde cualquier excedente eventualmente podría traducirse en productos ecológicos comercializables. Socialmente, los huertos ayudan a restaurar y fortalecer el tejido social al reunir a los habitantes en las distintas actividades agrícolas. Por último, el medio ambiente es otro eje beneficiado, dado que con el aumento de la independencia alimentaria, la huella de carbono se reduce, y aun más importante, su construcción promueve la revegetación y recuperación del suelo mediante el uso de humus sólido y lixiviados derivados del sistema de lombriz roja. Por último, los huertos urbanos también sirven como vivero para la recuperación de especies endémicas en peligro.

## **VI. RESULTADOS**

### **F. Higuera como Ecosistema Regional de Valor Circular: Escenario 10 años después**

Diez años han transcurridos desde que en Higuera se crearan las sinergias regionales. La simulación sugiere logros en múltiples los tres ejes de la sostenibilidad. Por un lado, la producción de queso de cabra ha alcanzado

una producción de 55 toneladas del mismo modo que el productor de orégano local ha cosechado más de 18 toneladas de hojas de orégano, ambos creando ingresos cercanos a los \$900,000 y \$ 400,000 USD respectivamente.

Por otro lado, los resultados de los nuevos emprendimientos no usuales basados en R/B han logrado a nivel de todo el sistema (RCVE) ingresos extras equivalentes a más de \$1,000,000 USD (teniendo en cuenta el precio de mercado de los productos fabricados a partir de R/B). Más allá del aspecto económico, el fortalecimiento de los siguientes cuatro parámetros son los de mayor importancia para la consecución de un desarrollo regional verdadero:

**Uso del agua.** El uso eficiente del agua y su adecuada recuperación derivada del correcto rediseño de las cadenas de producción así como la creación del RCVE han traído consigo ahorros en descargas de agua de 665 mil litros. De esta manera se ha mejorado la disponibilidad de agua para la población local. Aunado a la anterior, la producción diaria de bebidas isotónicas proporciona un suplemento nutricional gratuito a los 225 niños de la comunidad, los cuales representan el 15% de la población total de Higueras.

**Salud.** Los casos de enfermedades gastrointestinales nunca han sido más bajos debido a la utilización de las aguas de orégano como antiséptico para desinfectar las verduras cultivadas localmente. Junto con la ingesta gratuita de orégano encapsulado, las cuales fortalecen el sistema inmunológico, las enfermedades comunes se han visto reducidas considerablemente.

**Recuperación de suelos (resiliencia).** Diez años después, más de 660 hectáreas han sido fertilizadas utilizando lixiviado, ayudando a revegetar y recuperar los suelos previamente erosionados. El humus sólido usado en la construcción de huertos urbanos, han creado cerca de 1.5 hectáreas adicionales de suelo recuperado y adecuado para el cultivo de hortalizas las cuales reforzarán la seguridad alimentaria.

**Seguridad Alimentaria.** Con la recuperación de los suelos, y el correcto manejo de los huertos urbanos, se logran producir 383 vegetales al día cubriendo en su totalidad los requerimientos de 75 familias, por lo tanto reforzando la autosostenibilidad alimentaria de Higueras.

Han pasado diez años y la calidad de vida ha mejorado de manera considerable y constante. Comunidades aledañas a han comenzado a imitar Higueras, ya que se ha convertido en un pueblo verdaderamente auto-sostenible. A pesar del éxito, nuevos retos surgen a

medida que la población de la comunidad aumenta por lo cual Higueras tiene que estar en constante reinversión, para mantener el equilibrio en los tres ejes de la sostenibilidad, economía, sociedad y ambiente.

## VII. DISCUSIÓN

El caso de Higueras soporta el hecho de que es posible convertir regiones en comunidades auto-sostenibles a través del encadenamiento armónico de los subsistemas de producción. A diferencia de las regiones, las comunidades son el producto de los esfuerzos para la reconstrucción de la capacidad de recuperación natural (resiliencia), el tejido social y una economía floreciente.

La originalidad de este trabajo no consiste en el modelado de cada uno de los subsistemas de Higueras, sino en el comportamiento general de la comunidad y su potencial.

Conocer el cómo cada uno de los subsistema se comporta no nos ayudará a conocer el grado o potencial de autosostenibilidad de la comunidad. Es menester descubrir las propiedades emergentes del sistema.

El caso de la comunidad de Higueras ha demostrado que se puede minimizar la producción de basuras o residuos no útiles, interconectando a todos los actores de manera sistemática, usando tecnologías apropiadas, procesos innovadores, creando así nutrientes valiosos para otros procesos y productos dentro de la región.

Los resultados de la simulación muestran una clara mejoría de los cuatro parámetros:

En primer lugar, un aumento en la autosuficiencia alimentaria mediante el incremento en la producción local de hortalizas, así como la disponibilidad de nuevas fuentes de alimento ante no explotadas (i.e. lago). Otro logro importante es la capacidad de recuperación natural a través de revegetación y actividades encargadas del enriquecimiento del sustrato y recuperación de suelos erosionados. El incremento en resiliencia con el tiempo traerá consigo aumentos en la tasa de producción de alimentos, así como proporcionar más y mejores servicios ambientales en forma de aire y agua limpia así como suelos fértiles, lo que mejorará considerablemente la calidad de vida. En tercer lugar, al explotar correctamente el potencial de los recursos endémicos como es el orégano, la disponibilidad a bajo costo de productos nutracéuticos se aumenta de la misma forma con la que se incrementa la prevención de

enfermedades y el mejoramiento de los problemas relacionados con la salud a virtualmente cero costo marginal. Específicamente, la desnutrición infantil podría ser erradicada, así como infecciones fúngicas y bacterianas.

Por último, todos los procesos que implican el uso del agua son meticulosamente abordados con el fin de alcanzar una meta de cero descargas. Todas las corrientes de aguas residuales se canalizan correctamente a otros procesos en la región siguiendo principios metabólicos mejorando así el uso del agua regional y su conservación.

Además de lo anterior, las sinergias regionales produjeron como externalidades positivas un aumento de la demanda de capital humano, lo que se traduce en mayores y mejores oportunidades de empleo. Todas estas sinergias regionales exigen nuevos procesos y la creación de empresas no usuales dedicadas a aprovechar el potencial de R/B para la creación de riqueza sostenible.

En resumen, los resultados de la simulación sugieren una clara sinergia entre los sistemas de producción y los grupos de interés como son el pueblo de Higuera. Los impactos ambientales, sociales y económicos son claramente beneficiosos.

### VIII. CONCLUSIONES

Estrategias actuales como el reciclaje, reutilización y reducción en el uso de materiales, no son suficientes como solución sostenible para hacer frente al rápido crecimiento de la población y la industrialización, así como la falta de disponibilidad cada vez mayor de los recursos naturales. Por lo tanto, necesitamos un nuevo modelo para lograr una autosostenibilidad real de las regiones en lo que hemos denominado Ecosistema Regional de Valor Circular.

Esta nueva perspectiva se basa en el pensamiento sistémico, así como en principios de economía azul, economía circular, a las cuales hemos añadido la perspectiva de ecología industrial respecto al tratamiento de residuos y desechos con el argumento de que no sólo debemos centrarnos en cerrar el ciclo de final de los productos de vida, sino cerrar los ciclos en procesos intermedios y tomar en cuenta su comportamiento dinámico. De esta manera al existir mayor iteración se minimiza la producción de residuos

así como se aumenta la generación de riqueza sostenible.

Se desarrolló un modelo dinámico de sistemas enfocado a crear escenarios de desarrollo regional basado en el aprovechamiento de desechos y residuos. Se expuso el caso de estudio de la comunidad de Higuera, México presentándose los impactos beneficiosos de valorización de residuos utilizando principios como el modelo de negocios de cascada así como la interacción simbiótica entre las partes interesadas.

Dichas interacciones entre los diversos actores involucrados en la dinámica regional fueron examinados a través del tiempo mediante Vensim®.

El modelo desarrollado en este artículo, más allá de proporcionar una herramienta para la simulación dinámica del sistema de Higuera, funge como un mecanismo adecuado para la toma de decisiones estratégicas, ya que responde a diversas interrogantes sobre el futuro de Higuera referente a su potencial auto-sostenible. ¿Cuántas hectáreas de suelo erosionado se podrían remediar con la valorización de desperdicios locales? ¿Cuántas familias pueden satisfacer sus necesidades alimentarias al consumir la producción local de hortalizas derivadas de los huertos urbanos? ¿En qué medida los productos como el aceite de orégano, aguas orégano son lo suficientemente abundantes para iniciar su comercialización? ¿Cuánto tiempo le tomará al lago crear una tonelada de pescado sin poner en peligro su disponibilidad futura? Estas son algunas preguntas derivadas de simulaciones que pueden ser respondidos por el modelo.

Los escenarios permiten prever las repercusiones de variables para todo el sistema y lo más importante cómo el rediseño regional afectar a los parámetros de interés. De esta manera, el modelo se convierte en un sistema de soporte para la toma de decisiones estratégicas a través de desarrollo de escenarios. Los escenarios permiten visualizar el impacto de ciertas variables en las propiedades emergentes así como su influencia en los parámetros del sistema (comunidad). Por lo cual, sirve como una herramienta para la correcta evaluación de las actividades de rediseño de una región así como las políticas públicas.

Finalmente concluimos que mediante la innovación, nuevos modelos de negocio, procesos innovadores y tecnologías apropiadas, así como el correcto aprovechamiento sistémico del potencial de los residuos

y basuras, es posible rediseñar y transformar una región para convertirla en auto-sostenible. Lo anterior, al mismo tiempo que es económicamente competitiva, socialmente incluyente y ambientalmente responsable.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el gran apoyo proporcionado por la Asociación Ecológica de Sierra Picachos A. C. de la misma manera que agradecemos a todos los emprendedores locales de Higuera quienes brindaron todo su tiempo y esfuerzo en la realización de esta investigación.

### REFERENCIAS

- [1] M. De Kemmeter, *New growth in the new economy: New measuring new cooperation resources systemics*. Retrieved from: <http://uhdr.files.wordpress.com/2013/03/new-growth-in-the-neweconomy-resources-systemics.pdf>, 2013.
- [2] I. A. Al-Khatib, S. Kontogianni, H. A. Nabaa, and M. I. Al-Sari, "Public perception of hazardousness caused by current trends of municipal solid waste management," *Waste Management*, vol. 36, pp. 323–330, 2014.
- [3] A. S. E. Yay, "Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya," *Journal of Cleaner Production*, vol. 94, pp. 284–293, 2015.
- [4] A. Laurent, I. Bakas, J. Clavreul, A. Bernstad, M. Niero, E. Gentil, M. Z. Hauschild, and T. H. Christensen, "Review of LCA studies of solid waste management systems—Part I: Lessons learned and perspectives," *Waste management*, vol. 34, no. 3, pp. 573–588, 2014.
- [5] H. Schnitzer, and S. Ulgiati, "Less bad is not good enough approaching zero emissions techniques and systems," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 13, pp. 1185–1189, 2007.
- [6] J. Donald, "Marxism and sustainable development: The ecological limits of capitalism," *Nature, Society, and Thought*, vol. 12, no.1, pp.43–53, 1999.
- [7] C. Scheel, "Transition beyond sustainability: Breaking the paradigm, reaching economic growth from the resilience of natural resources," Paper presented at the ICTPI 2014 International Conference on Technology Policy and Innovation in Brno, Czech Republic, 2014.
- [8] M. Chertow, "Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and Environment*," vol. 25, pp. 313–337, 2000.
- [9] F. Nasiri, T. Savage, R. Wang, N. Barawid, and J. B. Zimmerman, "A system dynamics approach for urban water reuse planning: a case study from the Great Lakes region," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 27, no. 3, pp. 675–691, 2013.
- [10] D. Krajnc, M. Mele, and P. Glavič, "Improving the economic and environmental performances of the beet sugar industry in Slovenia increasing fuel efficiency and using by-products for ethanol," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 13, pp. 1240–1252, 2007.
- [11] N. B. Jacobsen, "Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: A quantitative assessment of economic and environmental aspects," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 10, no. 1–2, pp. 239–255, 2006.
- [12] G. A. Pauli, *The blue economy: 10 years, 100 innovations, 100 million jobs*. Paradigm Publications, 2010.
- [13] O. Zhu, E. A. Lowe, Y. Wei, and D. Barnes, "Industrial symbiosis in China: A case study of the Guitang Group," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 11, no. 1, pp. 31–42, 2007.
- [14] T. Fujita, "International expansion of environmental technologies," 7th Asia Pacific Eco-Business Forum at Kawasaki Japan, 2011.
- [15] J. Korhonen, "Regional industrial ecology: Examples from regional economic systems of forest industry and energy supply in Finland," *Journal of Environmental Management*, vol. 63, no. 4, pp. 367–375, 2001.
- [16] J. Dong, Y. Chi, D. Zou, C. Fu, Q. Huang, and M. Ni, "Energy–environment–economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective: Model development and case study," *Applied Energy*, no. 114, pp. 400–408, 2014.
- [17] L. A. Bollinger, C. Davis, I. Nikolić, and G. P. Dijkema, "Modeling metal flow systems," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 16, no. 2, pp.176–190, 2012.
- [18] E. V. Verhoef, G. P. Dijkema, and M. A. Reuter, "Process knowledge, system dynamics, and metal ecology," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 8, no. 1–2, pp. 23–43, 2004.
- [19] D. B. Müller, H. P. Bader, and P. Baccini, "Long-term coordination of timber production and consumption using a dynamic material and energy flow analysis," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 8, no. 3, pp.65–88, 2004.
- [20] J. Pubule, A. Blumberga, F. Romagnoli, and D. Blumberga, "Finding an optimal solution for biowaste management in the Baltic States," *Journal of Cleaner Production*, no. 88, pp. 214–223, 2015.
- [21] R. Rehan, M. A. Knight, C. T. Haas, and A. J. A. Unger, "Application of system dynamics for developing financially self-sustaining management policies for water and wastewater systems," *Water Research*, vol. 45, no. 16, pp. 4737–4750, 2011.

- [22] A. R. Ometto, P. A. R. Ramos, and G. Lombardi, "The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 13, pp. 1253-1258, 2007.
- [23] R. A. Frosch, and N. E. Gallopoulos, "Strategies for manufacturing," *Scientific American*, vol. 261, no. 3, pp. 144-152, 1989.
- [24] Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*, 2012.
- [25] B. Richmond, and S. Peterson, *An introduction to Systems Thinking*. Hanover, NH: High Performance Systems, 1997.
- [26] J. D. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World (Vol. 19)*. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- [27] B. Dyson, and N. B. Chang, "Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling," *Waste management*, vol. 25, no. 7, pp. 669-679, 2005.
- [28] M. Chaerul, M. Tanaka, and A. V. Shekdar, "A system dynamics approach for hospital waste management," *Waste Management*, vol. 28, no. 2, pp. 442-449, 2008.
- [29] C. Rochas, T. Kuzņecova, and F. Romagnoli, "The concept of the system resilience within the infrastructure dimension- application to a Latvian case," *Journal of Cleaner Production*, no. 88, pp. 358-368, 2015.
- [30] INEGI, "Número de habitantes," Recuperado de: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/nl/poblacion/>, 2015.
- [31] N. Bluvstein, Y. Mahrer, A. Sandler, and G. Rytwo, "Evaluating the impact of a limestone quarry on suspended and accumulated dust," *Atmospheric Environment*, vol. 45, no. 9, pp. 1732-1739, 2011.
- [32] A. K. Misra, "Influence of stone quarries on groundwater quality and health in Fatehpur Sikri, India," *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 2, no. 1, pp. 73-88, 2013.
- [33] J. Phillips, "The level and nature of sustainability for clusters of abandoned limestone quarries in the southern Palestinian West Bank," *Applied Geography*, vol. 32, no. 2, pp. 376-392, 2012.
- [34] W. McDonough, and M. Braungart, *The Upcycle: Beyond Sustainability--designing for Abundance*. Macmillan, 2013.
- [35] J. Elkington. *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century*. New Society Publishers, Gabriola Island, BC, 1997.
- [36] M. Vazquez, *Systems dynamic modeling and scenario generation for the insertion of decomposer*

firms into an industrial ecology system. (ITESM, EGADE Disertación Doctoral), 2014.

- [37] G. T. Gündüz, Ş. A. Gönül, and M. Karapınar, "Efficacy of oregano oil in the inactivation of *Salmonella typhimurium* on lettuce," *Food Control*, vol. 21, no. 4, pp. 513-517, 2010.
- [38] I. Karabagias, A. Badeka, and M. G. Kontominas, "Shelf life extension of lamb meat using thyme or oregano essential oils and modified atmosphere packaging," *Meat science*, vol. 88, no. 1, pp.109-116, 2011.
- [39] J. Lebrato, J.L. Pérez-Rodríguez, C. Maqueda, and E. Morillo, "Cheese factory wastewater treatment by anaerobic semicontinuous digestion," *Resources Conservation and Recycling*, vol. 3, pp. 193-199, 1990.
- [40] S. Piippo, A. Juntunen, S. Kurppa, and E. Pongrácz, "The use of biowaste to revegetate eroded land areas in Ylläs, Northern Finland: Toward a zero waste perspective of tourism in the Finnish Lapland," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 93, pp. 9-22, 2014.

## AUTORES



**EDUARDO AGUIÑAGA** Contador Público y Finanzas, obtuvo su MBA en la EGADE Business School Sede Monterrey, México. Actualmente es candidato a Doctor en Ciencias

Administrativas por la misma institución. Sus áreas de investigación se enfocan en temas como ecología industrial, economía circular, emprendimiento, innovación, pensamiento sistémico y nuevos modelos de negocio basados en residuos y basuras. Durante sus estudios doctorales, ha trabajado como asistente de investigación en diversas consultorías relacionadas a la valorización de desperdicios en tanto cadenas de producción, como en industrias y regiones.



**CARLOS SCHEEL** Profesor Emérito, de la EGADE Business School del Tecnológico de Monterrey. México; en las especialidades de Innovación bajo un enfoque Sistémico, Estrategias de Innovación y Tecnología. Investigador

Senior del Innovation, Creativity and Capital Institute (IC2) de la Univ. de Texas. Austin. Actualmente desarrolla el Modelo SWIT (Sustainable Wealth creation by Innovation and Technology) para la creación de

riqueza sustentable, mediante el ensamble de clústeres de innovación de ecosistemas regionales de cero-residuos y economías en transición para países en desarrollo.



## 71. INCLUSION MODEL FOR FAMILY FARMING

**JUAN PABLO TRIBÍN RIVERA, CELINA TERESA FORERO ALMANZA**

Universidad Piloto de Colombia  
jptribin@gmail.com, celincmc@gmail.com

### ABSTRACT

This paper presents a inclusion model for family farming to institutional food purchases, showing the increase of the income of farming families through those purchases.

The model simulated through system dynamics, starts from a cost structure with elements of quality and safety, which can guarantee the consumption of the institutional client.

This model affirms the importance of this kind of articulation, which can provide a distribution channel for the family farming, increasing their income and therefore their quality of life, and the ability to link elements of food and nutrition security.

**KEYWORDS:** System Dynamics, Family Farming, Food and Nutrition Security, Institutional Food Purchases.

### I. INTRODUCCION

La agricultura familiar (AF) se define como "los pequeños productores de alimentos, ya sean del sector agropecuario, silvícola, pesquero o acuícola los cuales cumplen con las siguientes características: 1) acceso limitado a recursos de tierra y capital, 2) uso preponderante de la fuerza de trabajo familiar y 3) la actividad agropecuaria, silvícola, pesquera o acuícola es la principal fuente de ingresos del núcleo familiar" [1], definición que tiene múltiples acepciones, teniendo en cuenta el contexto en el que se le analice [2] y entendiendo la complejidad de poder definirla, ya que no se puede estratificar ni dimensionar como una sola, además de la transformación del concepto que ha pasado de un discurso ideológico a uno técnico.

Comprendiendo esta complejidad, se puede evidenciar que en distintos países de Latinoamérica se ha dado relevancia a los factores de producción (tierra, trabajo y capital), el ingreso generado por la actividad productiva y a la mano de obra familiar para caracterizarla como agricultura familiar, que puede ser tipificada bajo dos

parámetros [3]: especializada o pluriactiva: especializada que hace referencia a las familias que reciben sus ingresos en mayor medida de la actividad agropecuaria, y pluriactiva que percibe sus ingresos de actividades diversas, adicionales a la explotación agropecuaria<sup>1</sup>. También se puede citar otra clasificación de la agricultura familiar como la propuesta por Rodríguez [4], que la categoriza como:

a) Explotaciones campesinas de subsistencia: minifundio, el destino principal de la producción es el autoconsumo, presentan una clara diversificación de actividades (desarrollo de actividades no agropecuarias como venta de artesanías y/o empleo asalariado fuera del predio) con el fin de complementar los ingresos.

b) Explotaciones familiares: el tamaño promedio varía según el país o región, utiliza mano de obra familiar, el destino principal de la producción es el autoconsumo, pero algún excedente puede ser destinado al mercado, algunos miembros del hogar suelen trabajar en actividades agrícolas o no agrícolas fuera de la explotación.

c) Pequeña agricultura comercial o en transición: el tamaño promedio varía según el país o región, utiliza

elementos como disponibilidad de terreno y mano de obra familiar.

<sup>1</sup> Varios países latinoamericanos consideran a una unidad productiva agricultura familiar, cuando sus ingresos provienen en un 75% de la actividad agropecuaria, además de otros

mano de obra familiar y, marginalmente, trabajo asalariado, orienta su producción básicamente al mercado, presenta algún grado de especialización productiva, poseen activos y capacidades que les otorgan algún potencial de acumulación y una posición de transición hacia formas empresariales.

d) Agricultura empresarial capitalista: se distingue por el empleo de mano de obra asalariada permanente, la incorporación de técnicas modernas de producción, generalmente asociadas a un nivel elevado de productividad, y una mayor integración al mercado u otros segmentos del sistema agroalimentario.”

En ese sentido, características generales toman forma para dar una definición de agricultura familiar que permiten enmarcarla en distintos contextos, y de esa manera visibilizarla en el ámbito agrícola y social con miras a su desarrollo.

En el marco de la 66ª sesión de la asamblea general de las Naciones Unidas, se declaró el año 2014 como el “Año Internacional de la Agricultura Familiar” [5], lo que la reposiciona en el centro de las políticas, sociales, ambientales y agrícolas de cada uno de los gobiernos, con miras a un desarrollo más equitativo de la población y a generar niveles de sostenibilidad y soberanía alimentaria.

La importancia de dicho grupo poblacional en toda Latinoamérica y el Caribe es evidente, dado que en algunos La importancia de dicho grupo poblacional en toda Latinoamérica y el Caribe es evidente, dado que en algunos países llega a representar el 80% de las explotaciones agrícolas, el 60% de la producción y superficie agropecuaria, y el 70% del empleo agrícola [6], involucrando en la región más de 60 millones de personas, siendo la principal fuente de empleo agrícola y rural [7]. Adicionalmente es un sector clave para lograr la erradicación del hambre y alcanzar sistemas agrícolas sostenibles que involucren calidad en el consumo y Seguridad Alimentaria Nutricional (SAN).

Distintos países han identificado la importancia de la agricultura familiar para alcanzar metas de desarrollo sostenible, en un mundo que amenaza cada vez más su

subsistencia [8]: aperturas económicas, “agricultura por contrato<sup>2</sup>, migración de la población rural a los cascos urbanos, acaparamiento de tierras, entre otros factores, han llevado a que se generen políticas que fortalezcan e incluyan este grupo poblacional. A

En ese sentido, las compras públicas se han vuelto un mecanismo que integra a la agricultura familiar en modelos eficientes de circuitos cortos que vinculan la oferta local en el consumo institucional. Se pueden citar casos exitosos como el de Brasil, con su política de apoyo a la agricultura familiar vinculando la oferta de la agricultura familiar en el Programa de Adquisición de Alimentos (PAA), Programa Nacional de Alimentos Escolares (PNAE) y compras institucionales [9], proveyendo de alimentos a población que se encuentra en inseguridad alimentaria. Por medio de estos programas se fomenta el desarrollo, dinamizando la economía local, y garantizando un canal de distribución para la oferta de la agricultura familiar junto con el consumo de la unidad territorial más cercana. Otros países que han adoptado políticas similares de vinculación de la agricultura familiar con las compras públicas son El Salvador, Etiopía, Ghana, Guatemala, Kenya, Malawi, Mozambique, Níger, República Unida de Tanzania, Rwanda y Senegal, y han logrado llevar este proceso con éxito [10][11], al igual que existe potencial en distintos países latinoamericanos para generar este tipo de vinculación [12].

El consumo de las personas deberían involucrar un componente que es de vital importancia como lo es la SAN, entendida como “un estado en el cual todas las personas gozan, en forma oportuna y permanente, de acceso físico, económico y social a los alimentos que necesitan, en cantidad y calidad, para su adecuado consumo y utilización biológica, garantizándoles un estado de bienestar general que coadyuve al logro de su desarrollo” [13], en ese sentido los programas sociales y las compras públicas e institucionales, permiten a las personas en condiciones de vulnerabilidad alcanzar dicha necesidad básica a través del apoyo estatal, permitiendo mejorar los Determinantes Sociales de la Salud (DSS)<sup>3</sup> [14], y alcanzar en esa medida mejores indicadores que

<sup>2</sup> Forma de integrar la agricultura familiar en estructuras comerciales y agroindustriales que coartan su poder de decisión, llevándola a una sumisión productiva, desincentivando la generación de estructuras cooperativas.

<sup>3</sup> Según la Comisión de la OMS de los DSS, se definen como: La mala salud de los pobres, el gradiente social de salud dentro de los países y las grandes desigualdades sanitarias entre los países están provocadas por una distribución desigual, a nivel mundial y nacional, del poder, los ingresos, los bienes y los servicios, y por las consiguientes injusticias que afectan a las

condiciones de vida de la población de forma inmediata y visible (acceso a atención sanitaria, escolarización, educación, condiciones de trabajo y tiempo libre, vivienda, comunidades, pueblos o ciudades) y a la posibilidad de tener una vida próspera. Esa distribución desigual de experiencias perjudiciales para la salud no es, en ningún caso, un fenómeno «natural»... Los determinantes estructurales y las condiciones de vida en su conjunto constituyen los determinantes sociales de la salud.»

involucran las múltiples dimensiones de pobreza de la población<sup>4</sup> [15]. Adicional al componente de SAN, en los procesos productivos existe un elemento de autoconsumo, que se entiende como la capacidad de estas familias de abastecerse de los productos que generan, garantizando una cuota mínima de alimentos para su propio sustento. El autoconsumo es una oportunidad para combatir la hambruna a nivel global y de igual forma garantizar la SAN y los DSS.

## II. CONTEXTO COLOMBIA

Al igual que en muchos países de Latinoamérica, en Colombia la definición de agricultura familiar no es precisa o ha llegado a ser consensuada. Bajo estas circunstancias, distintas investigaciones han intentado caracterizar la población rural, encontrando que ha venido en descenso en los últimos años, y la proyección es a que dicha situación se siga presentando a futuro (Figura 1) [16]. Este fenómeno de disminución poblacional se ha venido presentando por la interacción del proceso de industrialización, apertura económica y los cambios en la estructura agraria en las últimas décadas, convirtiendo al campo en una periferia deprimida, generando y transformando la población de rural a urbana acrecentando la explosión demográfica en las grandes urbes [17].

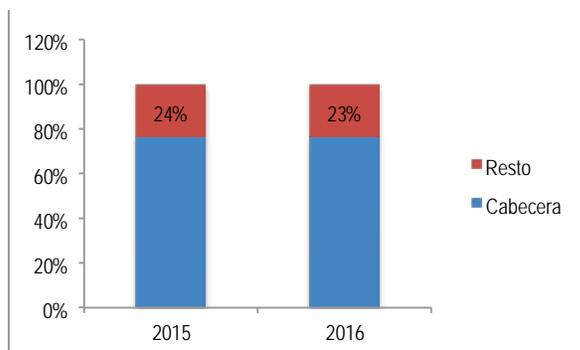


Figura 1. Proyecciones de Población Rural Colombia 2015-2016.

Los factores sociales que generan la disminución de la población rural, suponen una amenaza para la agricultura familiar del país y en gran medida para la SAN, y que pese a que en el país se presenta una gran concentración de la tierra, la agricultura familiar aporta el 79% de los alimentos consumidos y el 80% de la población productora agrícola [18].

Adicional a los factores poblacionales, la participación de la agricultura como sector económico en la demanda agregada es cada vez menor, lo que refuerza el argumento que el país pierde su vocación agrícola para pasar a desempeñar actividades económicas secundarias y terciarias. En ese sentido, pese a que en términos absolutos se presenta un crecimiento de la actividad económica "Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca" [19], en términos relativos su participación de la demanda agregada es cada vez menor (Figura 2).

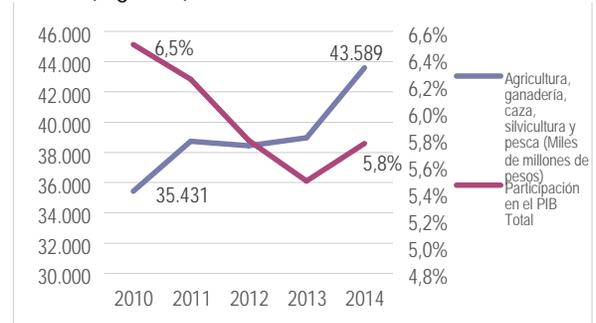


Figura 2. PIB Agrícola 2010-2014.

Bajo estas premisas, se puede afirmar que existen factores que ponen en evidencia un decrecimiento de la población rural en Colombia, por lo cual es importante encontrar mecanismos que la protejan y la incluyan en los mercados, teniendo como premisa la equidad dada su importancia para los esquemas agroalimentarios de la población.

## III. AGRICULTURA FAMILIAR Y MERCADO INSTITUCIONAL

Dada la importancia de la agricultura familiar para garantizar la alimentación de la población, es necesario generar mecanismos que la incluyan en los esquemas de abastecimiento actuales, teniendo en cuenta que no cuenta con los mecanismos necesarios para competir en una economía de mercado. De igual manera existe una necesidad de alimentos para una población sin recursos suficientes que le permitan garantizar su propia subsistencia bajo unos estándares de calidad e inocuidad mínimos<sup>5</sup>.

Es en ese punto cuando se vincula el consumo y la oferta de alimentos a través de las compras públicas para satisfacer las dos necesidades, generando una dinámica económica territorial que permita la

<sup>4</sup> Al garantizar el componente de SAN, se impacta directamente DSS como la hambruna, reduciendo en gran medida la inequidad sanitaria.

<sup>5</sup> Bajo esta premisa funcionan los Programas de Alimentación Escolar (PAE) y los programas del ICBF.

subsistencia de la agricultura familiar y garantizando la SAN.

El mercado institucional en Colombia se puede caracterizar como desarticulado de la agricultura familiar<sup>6</sup>, dado que los agricultores no cuentan con las características suficientes para abastecer a los operadores que negocian directamente con el mercado institucional, entre las que se encuentran los volúmenes de alimentos requeridos por el mercado institucional, regularidad de la oferta, calidad e inocuidad de los alimentos que deben ser manejados desde la consecución de insumos, siembra cosecha, poscosecha, hasta la idoneidad de los productos que son entregados bajo las condiciones requeridas por el cliente institucional, un marco legal que incluya a los productores y políticas nacionales que vinculen a la agricultura familiar con el mercado de compras públicas<sup>7</sup>.

Bajo estas premisas, se presenta el siguiente modelo de simulación el cual tomó como base un modelo realizado con anterioridad por los autores [20] el cual cuenta con varios ciclos de realimentación, sin embargo, el objetivo era poder medir cómo, bajo un modelo contable de la cadena de abastecimiento que involucra a la agricultura familiar, se puede llegar a incrementar el ingreso de estas familias.

El modelo de simulación que se expone, toma relevancia debido a que se relaciona el impacto de las compras institucionales en la agricultura familiar, tomando como base elementos de SAN.

Los instrumentos, materiales y métodos utilizados en el presente modelo se exponen a continuación:

#### IV. INSTRUMENTOS Y MATERIALES

Para generar el modelo de simulación, se trabajó con la herramienta para modelado y simulación sistémica STELLA [21], el cual fue alimentado por un proceso de abstracción previo, que partió de una caracterización del encadenamiento productivo propuesto por Gómez de Castro [22], para identificar el encadenamiento que se presentaba en el mercado institucional (Figura 3).



Figura 3. Encadenamiento mercado institucional.

En ese sentido, se logró establecer que el encadenamiento involucra una serie de transacciones, que presenta unos flujos de materiales, productos, servicios y capital, en un entorno organizacional e institucional. En dicho proceso se encuentran distintos actores o eslabones los cuales son:

- **Productor:** El cual no participa activamente en la oferta productiva hacia el mercado institucional.
- **Transportador:** El cual puede ejercer dos funciones: 1) como intermediario comercializador que moviliza los productos hacia una central mayorista o centro de distribución, por lo general de índole regional. O 2) como un actor contratado o propio del operador<sup>8</sup>.
- **Operador:** Es el eslabón que licita u ofrece los productos y servicios de las contrataciones públicas que son demandadas por el cliente institucional. Se encarga de cumplir los requerimientos de calidad, tiempo y presupuesto, que son exigidos por su cliente, y en ese sentido, también cumple tareas de manipulación y alistamiento de los productos que serán consumidos por el *consumidor institucional*<sup>9</sup>, cumpliendo unos estándares de calidad e inocuidad.
- **Cliente institucional:** Es el eslabón que compra los bienes y servicios que serán provistos al cliente institucional. Por lo general es una entidad de carácter estatal, la cual brinda distintos tipos de asistencia a un grupo vulnerable o a un grupo de servidores públicos que requieren un producto o servicio. Para este caso en específico, la asistencia en productos alimenticios.
- **Consumidor Institucional:** (Es aquel grupo poblacional, que se beneficia de un programa desarrollado por el cliente institucional. Al verse beneficiado por dichos programas, se espera garantía de los productos o servicios que recibe, lo

<sup>6</sup> La afirmación se realiza teniendo en cuenta la experiencia de los autores, pero no constituye una generalidad de los mercados institucionales pero sí una característica general.

<sup>7</sup> Pese a que en la actualidad se realizan esfuerzos por vincular a la agricultura familiar a las compras del mercado institucional, dicha situación no es una generalidad. Los esfuerzos actuales se centran en vincular la oferta

y demanda de alimentos por medio de mecanismos gubernamentales y comités de política social.

<sup>8</sup> El actor operador se explica a continuación.

<sup>9</sup> El consumidor institucional no es el mismo cliente institucional. El primero se caracteriza, como aquel que recibe un beneficio por medio de un programa de alimentos gubernamental

que generará que sus condiciones de vida alcancen estándares superiores a los actuales.

Bajo esta dinámica de actores, se pudo establecer que la participación de la agricultura familiar en la demanda del mercado institucional era escasa, dados unos factores productivos y competitivos.

En ese sentido, el encadenamiento o la oferta productiva es abastecida en grandes plazas de mercado por parte intermediarios mayoristas, quienes proveen a los operadores, los cuales movilizan los productos a los territorios donde deben ejercer su labor contractual convenida con el cliente institucional. Adicional a esto, existen unos parámetros que deben ser cumplidos en el proceso de transporte, manipulación y preparación, para garantizar la calidad e inocuidad de los productos de la agricultura familiar.

La caracterización inicial del eslabonamiento y en última instancia, de las condiciones por las cuales no participa la agricultura familiar de manera activa en la oferta que es direccionada a los operadores, llevó a realizar un trabajo de campo que incluyó variables cualitativas y cuantitativas que ratifican de manera más específica, cuales son esas deficiencias en el eslabón productor. Por lo tanto, se procedió a trabajar una muestra por conveniencia con instrumentos de recolección de datos (encuestas), que permitieron tener una cercanía con la realidad de la agricultura familiar del municipio de El Colegio – Cundinamarca, datos con los cuales se generó el diagrama de influencias, el cual muestra de las múltiples variables que influyen en el sistema y si la interacción entre ellas es una relación inversa o directa [20]<sup>10</sup>

En ese sentido se genera un diagrama de influencias que están interconectados, por cada variable que está involucrado en el encadenamiento con el productor de agricultura familiar: proveedor de insumos (Figura 4), productor (Figura 5), factor técnico y tecnológico (Figura 6), factores logísticos adecuados (Figura 7) y comercializador mayorista y minorista, involucrando el mercado institucional como el consumidor (Figura 8).



Figura 4. Diagrama de Influencias eslabón proveedor de insumos.



Figura 5. Diagrama de Influencias eslabón productor.

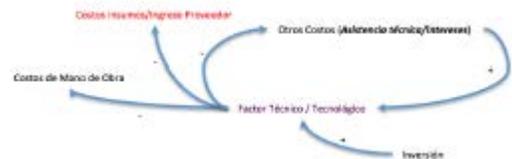


Figura 6. Diagrama de Influencias factores técnico y tecnológico.



Figura 7. Diagrama de Influencias factor logístico adecuado.



Figura 8. Diagrama de Influencias eslabón comercializador Mayorista/Minorista.

<sup>10</sup> El diagrama de influencias, se cita con base en la referencia y se parte desde ese constructo intelectual.

Por medio del ejercicio de diagrama de influencias y los datos cuantitativos y cualitativos que se recolectaron en campo, se generó y alimentó el diagrama Forrester, construcción que desarrollo la siguiente metodología.

## V. SIMULACIÓN DE UN MODELO INCLUSIVO

El modelo se desarrolló tomando como hipótesis dinámica:

1) La inclusión de la agricultura familiar en un mercado de compras institucionales por medio de la modificación de costos, pasando de un modelo de las condiciones actuales (no óptimas y no inclusivas de la agricultura familiar) frente al mismo modelo que los incrementa (óptimo e inclusivo) para alcanzar estándares de calidad e inocuidad, por medio de los factores técnicos y tecnológicos necesarios, con miras a alcanzar el mercado citado, y un subsecuente incremento de precios que permitirá mejorar los ingresos del grupo de productores y establecer una relación directa con el PIB agrícola, dado que los ciclos de ingresos y egresos permitirían una realimentación de inversión y optimización en los procesos, lo que llevará a la mejora de todo el sistema.

Por medio del diagrama de influencias, el cual muestra los ciclos de realimentación del sistema, se estructuraron los distintos costos y encadenamiento, que están involucrados en el proceso de producción agrícola y posterior comercialización. Entre los costos encontramos:

- Costos de riego
- Costos de Control Sanitario
- Costos Laborales
- Otros Costos (administración, arrendamiento, asistencia técnica y crédito)
- Costos Semilla/Plántulas
- Costos de Empaque
- Costos de Fertilizante
- Costos de Transporte
- Costo Insumos

Dichos costos, y el desarrollo del diagrama Forrester se relacionan en las figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17.

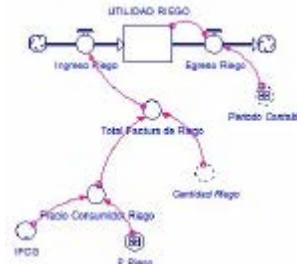


Figura 9. Diagrama de Forrester costo riego.

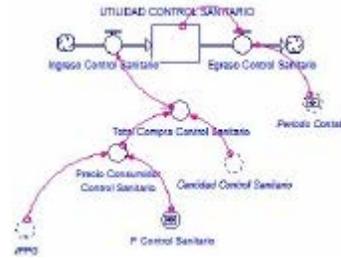


Figura 10. Diagrama de Forrester costo control sanitario.

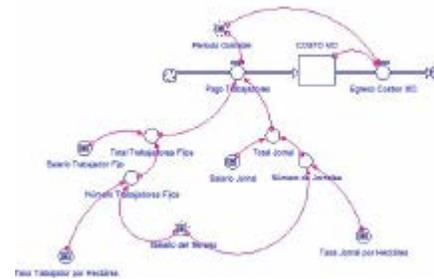


Figura 11. Diagrama de Forrester costos laborales.



Figura 12. Diagrama de Forrester otros costos.

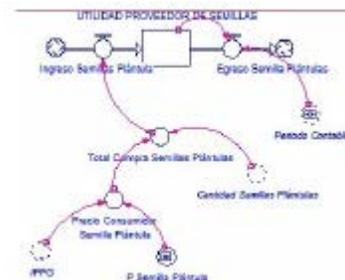


Figura 13. Diagrama de Forrester costo semillas/plántulas.

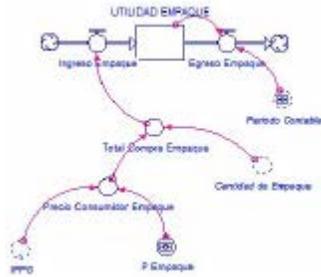


Figura 14. Diagrama de Forrester costo empaque.

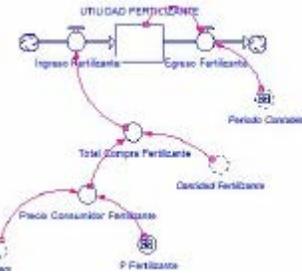


Figura 15. Diagrama de Forrester costo fertilizante.

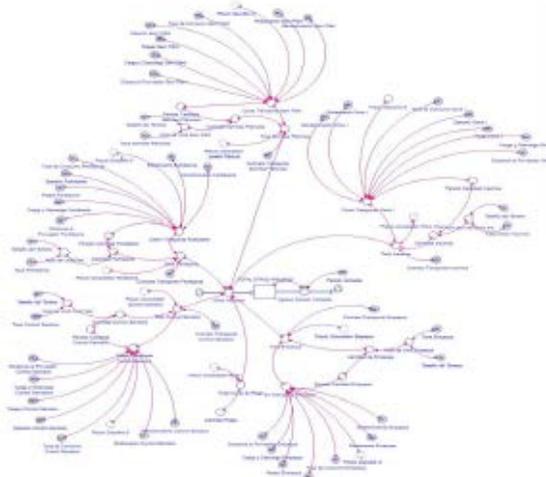


Figura 16. Diagrama de Forrester costo transporte.

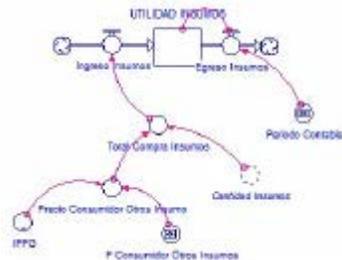


Figura 17. Diagrama de Forrester costo insumos.

Bajo la estructuración de costos relacionada en los anteriores gráficos, se generó un modelo matemático que correspondía en mayor medida a la función del

ingreso total con base en una medida de tiempo, que para el caso del modelo es mensual. Todos los componentes de costos se vincular y se articulan para influenciar los diagramas de cantidad producida (Figura 18) y con posterioridad el de utilidad (Figura 19).

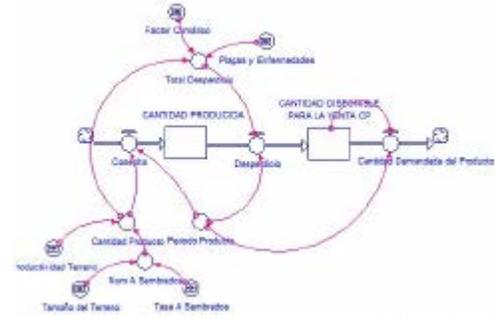


Figura 18. Diagrama de Forrester cantidad producida.

Las cantidades producidas están influenciadas por distintas variables que pueden ser endógenas o exógenas a la unidad productiva. En ese sentido, todas las variables del modelo se vinculan para generar una estructura de la utilidad y utilidad neta, con la cual se puede medir el comportamiento de los ingresos de las familias a lo largo del tiempo y teniendo en cuenta los ciclos de realimentación que se presentan en el modelo.

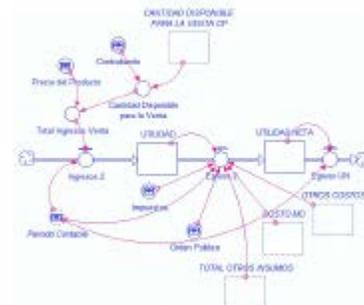


Figura 19. Diagrama de Forrester utilidad y utilidad neta.

Entre las variables exógenas del modelo se pueden relacionar:

- El Índice de Precios al Productor
- Precio de la Gasolina
- Tasas de Interés
- Impuestos
- Factores de Orden Público<sup>11</sup>
- Contrabando
- Precios de Venta de los productos de la AF
- Factores Climáticos
- Plagas y Enfermedades

<sup>11</sup> Dichos factores pueden ser cuantificados como una pérdida o egreso.

Estas variables se vinculan en 12 sectores que relacionan todas las variables anteriormente mencionadas, y que derivan en los ingresos de las familias productoras. Para alcanzar este proceso se tomó como base la unidad productiva<sup>12</sup>, datos que fueron extrapolados a la población rural.

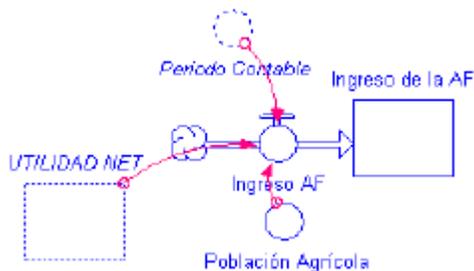


Figura 19. Ingresos de la agricultura familiar.

En ese sentido y bajo ese constructo del modelo, se desarrollaron dos simulaciones que a continuación se exponen: 1) que muestra el comportamiento del sistema bajo las dinámicas actuales y 2) una simulación bajo condiciones de calidad que inquieren un incremento de costos.

## VI. RESULTADOS

Bajo las condiciones actuales del sistema, se identificó que los costos de producción eran bajos, debido a que no se involucra ningún componente de calidad e inocuidad en el proceso productivo que lleve a garantizar los productos, por lo tanto, la utilidad neta presenta un comportamiento de rendimientos decrecientes, que pese a ofrecer a las familias productoras un ingreso mínimo para su subsistencia, tiende a mantenerse a lo largo de la serie proyectada y no les permite generar acumulación de capital que lleve a la mejora de sus unidades productivas (Figura 20):

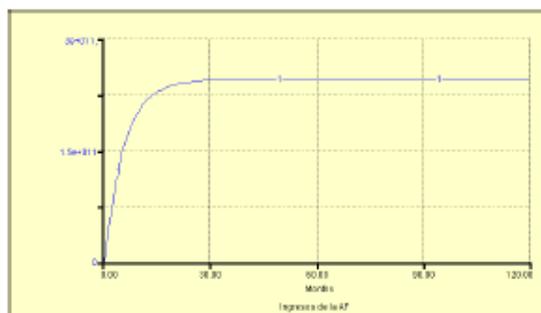


Figura 20. Ingresos de la AF bajo circunstancias actuales.

<sup>12</sup> La unidad productiva se pudo caracterizar por medio de la recolección de fuentes primarias de campo, bajo el proyecto de investigación "Desarrollo de una unidad estratégica de negocio, para la generación de ingresos de los

Tomando como base el escenario actual, se planteó un escenario que vincule a la agricultura familiar en las compras del mercado institucional, buscando una mejora en los ingresos de las familias productoras, tal como se ha presentado en otros países que han implementado este modelo. Para Colombia, dichas compras pueden ser generadas por el programa PAE, por las compras del ICBF o por otras instituciones gubernamentales (cárceles, casinos, instituciones públicas, etc).

Con este objetivo, se realizó la modificación de los costos de producción, teniendo en cuenta que ellos se incrementan, dado que debe alcanzarse un proceso productivo que garantice estándares de calidad e inocuidad de los productos alimenticios que se buscan lo que genera una relación directa entre los costos y la calidad, los costos que se incrementan son:

- Costos de riego
- Costos de Control Sanitario
- Costos Laborales

Otros Costos (administración, arrendamiento, asistencia técnica y crédito)

- Costos de Empaque
- Costos de Fertilizante
- Costos de Transporte
- Costo Insumos

Mientras que las variables se mantuvieron constantes:

- El Índice de Precios al Productor
- Precio de la Gasolina
- Tasas de Interés
- Impuestos
- Factores de Orden Público
- Contrabando
- Precios de Venta de los productos de la AF
- Factores Climáticos
- Plagas y Enfermedades

Con base a esta simulación, se identificó que los ingresos de las familias productoras tienden a ser mayores, crecientes y sostenibles a lo largo del tiempo (Figura 21):

pequeños productores de cítricos y mango en el municipio de El Colegio – Cundinamarca" desarrollado por el programa de Ingeniería de Mercados de la Universidad Piloto de Colombia.

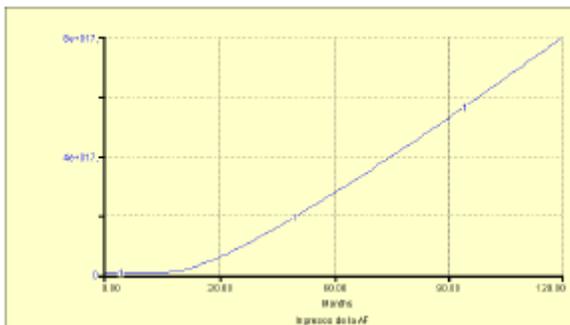


Figura 21. Ingresos de la AF incorporando elementos de SAN para el mercado institucional.

Con base en las simulaciones que se vuelven comparativas, se puede identificar un crecimiento de los ingresos de los productores, lo cual da la oportunidad que mejore su calidad de vida y que tome relevancia e importancia la vinculación de la agricultura familiar en este tipo de compras.

Cabe anotar que las compras institucionales solo se vuelven un canal de distribución para los agricultores, y deben estar enmarcadas en una política integral de mejoras que debe tener como involucrados a distintos entes gubernamentales y privados.

El modelo de simulación es complejo, sin embargo de él se pueden extraer las siguientes conclusiones:

## VII. CONCLUSIONES

La inclusión de la agricultura familiar en los mercados institucionales puede garantizar un ingreso monetario a las familias productoras que beneficie directamente su calidad de vida, para lo cual deben adoptar buenas prácticas agrícolas (BPA) que derivarán en un incremento en los costos de producción, pero que podrá ser recuperado debido a que los precios pagados en el mercado institucional tienden a ser mayores a los precios de mercado.

El comportamiento del sistema puede ser explicado, dado que la conformación del sistema está estructurado bajo un modelo de costos que responderá a los incrementos que se realizan a cada una de las variables y repercutirá en la utilidad neta de los agricultores. Los ciclos de realimentación generan que el comportamiento del sistema sea creciente, decreciente o estable, lo cual está influenciado por los ciclos de inversión que están calculados para el modelo.

Bajo este modelo se cuantifica el aumento en los ingresos de la unidad productiva y por ende, se puede extrapolar a los ingresos de la agricultura familiar, dando oportunidad de subsistencia a las familias que componen este sector productivo que aporta a la demanda agregada, sin embargo, este modelo identifica la oportunidad monetaria de involucrar la agricultura familiar con el mercado institucional, mas no es una política integral que relacione otros canales de distribución o que alcance metas de calidad de vida, dado que se parte de la premisa que el aumento en los ingresos de los productores, lleva intrínsecamente a la mejora de las condiciones de vida.

Garantizando un nuevo modelo de negocio y de distribución y comercialización no tradicional y sistemas de negociación diferenciados para la agricultura familiar, se genera sostenibilidad del sector agrícola colombiano, lo cual permite una soberanía alimentaria proveyendo de alimentos locales a los consumidores bajo estándares de calidad.

Dinamizando la economía local con los productos de la agricultura familiar se genera un incremento y subsistencia del sector agrícola colombiano, sin embargo, varios esfuerzos deben ser realizados para alcanzar un encadenamiento productivo que lleve a que se garantice la SAN de los consumidores institucionales.

Se pudo afirmar la hipótesis dinámica, debido a que bajo la construcción del modelo de simulación, se identificó que la participación de la agricultura familiar en las compras públicas, dinamiza y mejora los ingresos de la agricultura familiar y por ende se genera una relación de causalidad con el PIB agrícola.

Para que se logre vincular la agricultura familiar con las compras locales, es necesario el apoyo de distintos entes de apoyo que deben centrar esfuerzos en una red intersectorial que lleve a garantizar la subsistencia del grupo poblacional y su crecimiento y participación en las actividades económicas del país.

## REFERENCIAS

- [1] FAO, "La Agricultura Familiar," 2010. [Online]. Available: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/InfparaProf.pdf>.
- [2] FIDA, "La agricultura familiar en América Latina: Un nuevo análisis comparativo," p. 36, 2014.

- [3] F. S. dos A. N. V. C. V. Caldas, "Pluriactividad y agricultura familiar en Brasil: el caso de Rio Grande do Sul," CEPAL, 2007. [Online]. Available: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/31960/saccodosanjos.pdf>.
- [4] M. Rodrigues, Impactos diferenciados de la liberalización comercial sobre la estructura agrícola en América Latina, no. C. 2007.
- [5] FAO, "Año internacional de la agricultura familiar," FAO, 2014. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/019/as281s/as281s.pdf>.
- [6] FAO, "Boletín de Agricultura Familiar de América Latina Y El Caribe, Julio-Septiembre, 2012," 2013. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/019/as191s/as191s.pdf>.
- [7] S. Salcedo and L. Guzmán, Agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Recomendaciones de Política. 2014.
- [8] M. Merlet and C. Jamart, "Situación y Perspectivas de las Agriculturas Familiares en América Latina," vol.33, no. 0, 2011.
- [9] E. Siliprandi and FAO, "Los Programas de Compras Públicas de Brasil : Escuelas y Circuitos Cortos," 2013. [Online]. Available: [http://www.cepal.org/ddpe/agenda/8/50498/05\\_emma\\_siliprandi.pdf](http://www.cepal.org/ddpe/agenda/8/50498/05_emma_siliprandi.pdf).
- [10] FAO, "Inclusive Value Chains: Les filières intégrées," 2015. [Online]. Available: <http://www.fao.org/ag/ags/ivc/les-filieres-integrees/fr/>.
- [11] FAO, "FAO - Noticias: Las compras públicas en África benefician a los agricultores familiares y las escuelas," 2015. [Online]. Available: <http://www.fao.org/news/story/es/item/280009/icode/>.
- [12] FAO, Alimentación escolar y las posibilidades de compra directa de la agricultura familiar. Estudio de caso en ocho países. 2013.
- [13] P. E. para la S. A. PESA, "Seguridad Alimentaria y Nutricional Conceptos Básicos," 2011.
- [14] OMS, "Subsanar las desigualdades en una generación: Alcanzar la equidad sanitaria actuando sobre los determinantes sociales de la salud," 2008. [Online]. Available: [http://www.who.int/social\\_determinants/final\\_report/media/csdh\\_report\\_wrs\\_es.pdf](http://www.who.int/social_determinants/final_report/media/csdh_report_wrs_es.pdf).
- [15] R. Angulo, "Propuesta de un Índice de Pobreza Multidimensional ( IPM-OPHI ) para Colombia," 2010. [Online]. Available: <http://www.cepal.org/colombia/noticias/documentosdetrabajo/1/40511/roberto-angulo2-ges.pdf>.
- [16] Dane, "Proyecciones de Población por Municipios 2005-2020," 2005. [Online]. Available: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06\\_20/ProyeccionMunicipios2005\\_2020.xls](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls).
- [17] R. Murad, Estudio sobre la Distribución Espacial de la Población en Colombia. Naciones Unidas, 2003.
- [18] IICA, "Definición de la Agricultura Familiar para Colombia," 2014. [Online]. Available: [http://www.iica.int/Esp/regiones/andina/colombia/Documentos\\_de\\_la\\_Oficina/Agricultura\\_Familiar/Publicaciones/documentos\\_comision\\_CIN.pdf](http://www.iica.int/Esp/regiones/andina/colombia/Documentos_de_la_Oficina/Agricultura_Familiar/Publicaciones/documentos_comision_CIN.pdf).
- [19] BANREP, "PIB," 2015. [Online]. Available: [http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/paginas/srea5\\_013.xls](http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/paginas/srea5_013.xls).
- [20] J. P. Tribín and C. Forero, "Prospectiva de la Cadena Productiva de Mango bajo el Enfoque Dinámico," vol.10, no. 1, pp. 56–81, 2014.
- [21] ISEE SYSTEMS, "STELLA - Modeling & Simulation Software," Stella software. p. 1, 2011.
- [22] A. M. Gómez de Castro, "Foresight study on the productive chain of the fishery industry in the region of the South American Pacific Coast," UNIDO., 2003.

#### AUTOR

**JUAN PABLO TRIBÍN RIVERA** – Profesional en Finanzas y Comercio de la Universidad de la Cámara de Comercio de Bogotá – UNIEMPRESARIAL. Investigador del Programa de Ingeniería de Mercados y Consultor de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas – FAO. Profesional en Mercadeo y Publicidad Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Especialista en Docencia Universitaria - Universidad Piloto de Colombia. Docente Investigador del Programa de Ingeniería de Mercados de la Universidad Piloto de Colombia.

## 73. PROBLEMAS DEL TRÁFICO DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE LIMA

**JAVIER INGAROCA SALAS, RUTH FLOREZ HUICHO**

Universidad Peruana de Ciencias e Informáticas - Peru  
jingaroca@hotmail.com, ruthyeni@hotmail.com

### ABSTRACT

As the years pass, the traffic in the metropolis of Lima-Callao is increasingly chaotic, and this conclusion is objectively observed that all run the same distance in more time; and all this, even though each passing year, is increasingly being implemented works. Then clearly it can be inferred that these works are not enough, and perhaps in many incomplete cases, so that do not fulfill their ultimate goal, or are deficient in design or composition of the fleet is not rational, or the mass transport is not efficient; also works are not executed according to the planned schedule. This situation is even more critical if we consider that the projected transport demand was based on an average GDP growth much lower (only 4% in the high scenario) to what really happened in the period 2005-2010 (7%); that is, as we go, we're going straight to total chaos, if we have not reached.

**KEYWORD:** System Dynamics, traffic, public transport, mobility.

### RESUMEN

Conforme pasan los años, el tráfico de la metrópoli de Lima-Callao es cada vez más caótico, y esta conclusión se observa objetivamente en que todos recorremos las mismas distancias, en cada vez más tiempo; y todo esto, a pesar de que cada año que pasa, se vienen ejecutando cada vez más obras. Entonces claramente se puede inferir que estas obras son insuficientes, y quizás en muchos casos incompletas, de tal manera que no cumplen con su objetivo final, o bien tienen deficiencias de diseño, o bien la composición del parque automotor no es racional, o bien el transporte masivo no es eficiente; además las obras no se ejecutan conforme al cronograma planificado.

Esta situación es más crítica aún, si tenemos en cuenta que la demanda de transporte proyectada, se basó en un crecimiento promedio del PBI mucho menor (apenas 4% en el escenario alto) a lo que realmente ha ocurrido en el periodo 2005-2010 (7%); es decir, así como vamos, estamos yendo directo al caos total, si es que aun no hemos llegado.

**PALABRAS CLAVE:** Dinámica de Sistemas, tráfico vehicular, transporte público, movilidad.

### I.- INTRODUCCION

El transporte de Lima, desde hace varios años, esta de manera caótica y brindando un deficiente servicio que determinan un pobre nivel de calidad y reclamos permanentes del público en general. Por otra parte, las autoridades de gobiernos y municipios de Lima, en su afán de mejorar el sistema, dejando de lado a las actuales empresas que brindan el servicio de transporte público, lo cual también genera el rechazo de los miles de transportistas de la ciudad. Cabe mencionar, de que las políticas públicas implantadas por el municipio y gobiernos han fracasado, ya que las entidades públicas

están muy politizadas y al no haber una buena planificación y gestión administrativa pública, el resultado es el caos que impera el transporte público en la ciudad. El presente trabajo es un esfuerzo por brindar herramientas que permitan a los empresarios tener un nivel de calidad de servicio adecuado y, al mismo tiempo, que las autoridades puedan exigir niveles aceptables en diferentes aspectos de la gestión pública y empresarial. El resultado final vendría a ser un modelo de calidad aplicable al transporte público de la ciudad de Lima, que puede convertirse en la base para un futuro ordenado del transporte público, aplicando Dinámica de Sistemas

II.- MATERIALES, INSTRUMENTOS Y METODOS



Figura1. Rutas de transporte Público

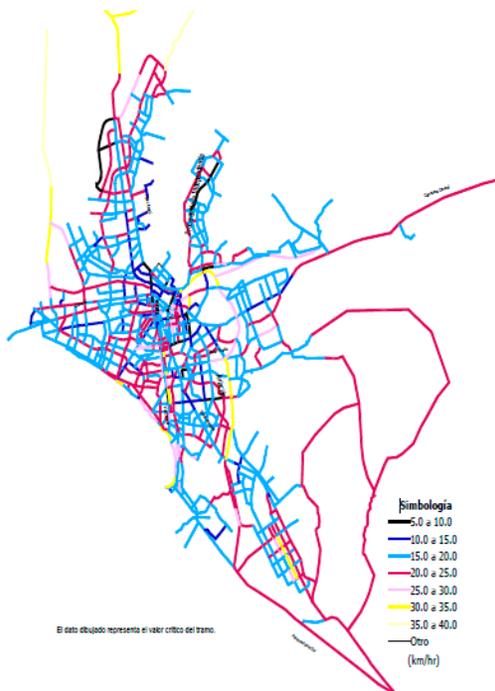


Figura 2. Velocidades de transporte Público Pico por la mañana



Figura 3. Densidad Poblacional

TABLA I evolución de la población y la superficie urbana de Lima Metropolitana 1940 – 1993 y proyección 1996 - 2015

ÁREA URBANA DESCENTRALIZADA	POBLACIÓN URBANA	ÁREAS DISPONIBLES (HA)			TOTAL
		POR DENSIFICAR	MEDIATAS	INMEDIATAS	
Central	2.270.425	19.574	—	—	19.574
Este	3.247.500	18.778	909	—	19.687
Norte	2.493.931	12.727	4.394	1.190	18.311
Sur	1.630.082	14.024	2.147	312	17.083
<b>TOTAL</b>	<b>9.641.938</b>	<b>66.452</b>	<b>7.450</b>	<b>1.502</b>	<b>75.404</b>

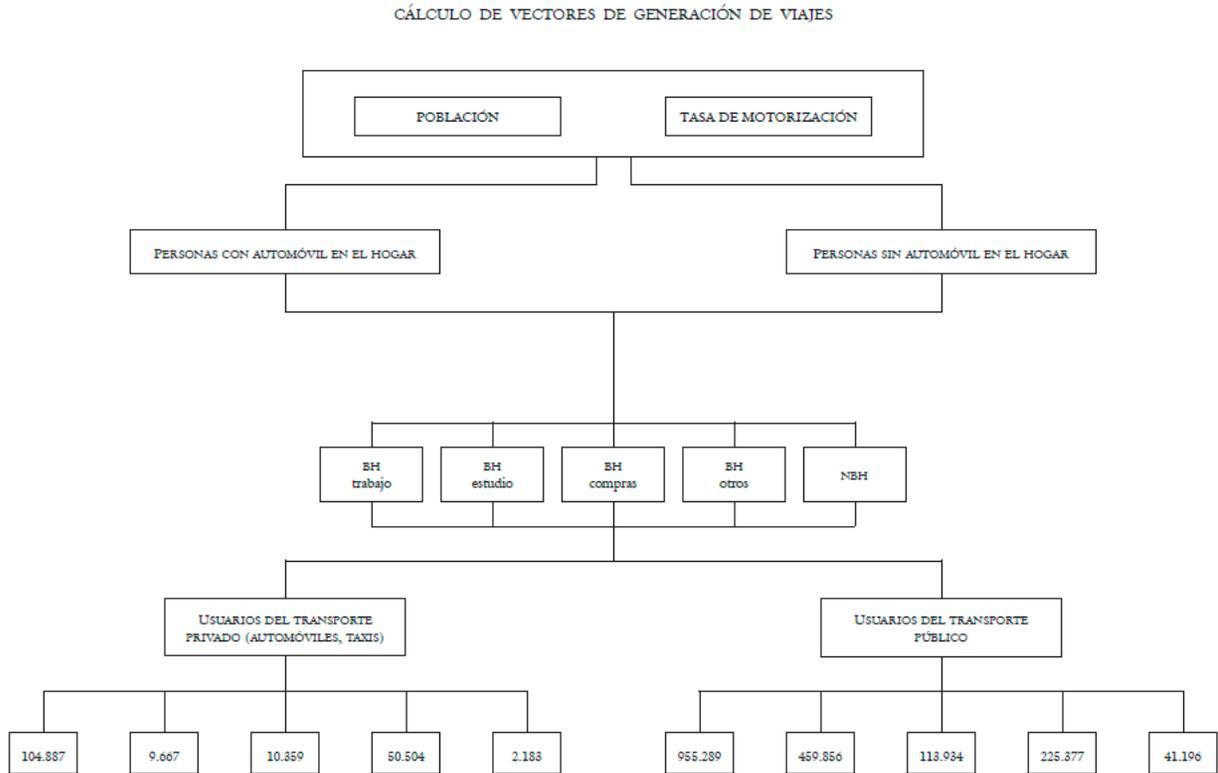
  

	POBLACIÓN URBANA (MILES DE HAB.)	VARIACIÓN ANUAL PROMEDIO ENTRE CENSOS (%)	SUPERFICIE URBANA (HA)	VARIACIÓN ANUAL PROMEDIO ENTRE CENSOS (%)	DENSIDAD POBLACIONAL URBANA (HAB./HA)
1940	045,2	n. d.	5.630	n. d.	114,6
1961	1.345,9	5,1	20.612	6,4	89,6
1972	3.302,5	5,4	34.172	4,7	90,6
1981	4.608,0	3,8	44.598	3,0	103,3
1993	6.345,9	2,7	66.452	3,4	95,5
1996*	6.920,7	2,9	69.207	1,4	100,0
2000*	7.536,5	2,2	71.776	0,9	105,0
2005*	8.291,4	1,9	73.375	0,4	113,0
2010*	9.016,1	1,7	74.513	0,3	121,0
2015*	9.641,9	1,4	75.328	0,2	128,0

\* Cifras proyectadas.

Fuente: INEL. Elaboración: Apoyo Consultoría S. A.

Tabla II. Metodología del cálculo de Vectores de generación de Viajes



La TABLA II muestra de forma esquemática la metodología empleada para el cálculo de la generación de viajes, así como también los viajes para cada categoría en la que se dividió la demanda.

Con base en los datos obtenidos de las encuestas domiciliarias de origen – destino de, se calculó tasas de generación de viajes para cada uno de los períodos en estudio y para cada clase de usuario, modo y motivo de viaje. Se consideró dos tipos de usuarios del sistema:

- Los que tienen automóvil en el hogar.
- Los que no tienen automóvil en el hogar.

La tenencia de automóvil en este caso fue tomada como indicador del ingreso del hogar, ya que no se dispone de pronósticos confiables del número de hogares por estrato económico. Los modos y motivos de viaje considerados

Fueron: — Modos

- Transporte privado: vehículos particulares y taxis
- Transporte público: ómnibus, microbuses, «camionetas rurales» y colectivos

— Motivos

- Basados en el hogar: trabajo
- Basados en el hogar: estudios

- Basados en el hogar: compras
- Basados en el hogar: otros
- No basados en el hogar

Los períodos de modelación considerados fueron

TABLA III. Modelo de Distribución de Viajes

MODO DE TRANSPORTE \ MOTIVO DE VIAJE	RURALES					TOTAL
	ÓMNIBUS	MICROBUSES	CAMIONETAS	AUTOMÓVILES	TAXIS	
BH TRABAJO	250	250	250	250	250	1.250
BH ESTUDIO	85	85	85	85	85	340
BH COMPRAS	125	125	125	125	75	575
BH OTROS Y NBH	65	65	65	65	65	325
TOTAL	525	525	525	525	390	2.490

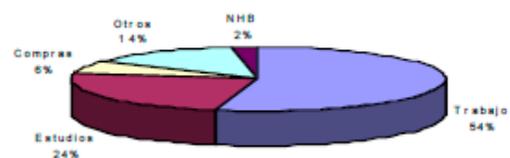


Figura 4. Distribución

**MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE VIAJES: MODELO GRAVITACIONAL**

La figura 4 muestra la metodología empleada para el cálculo de la distribución de los viajes de acuerdo a

motivos de viaje. Cabe mencionar que la metodología utilizada para la distribución de los viajes de transporte público y privado fue la misma.

El modelo de distribución utilizado fue el gravitacional que es uno de los más usados dentro de las técnicas de distribución de viajes. El planteamiento de este modelo se basa en la hipótesis de que todos los viajes producidos en un origen y atraídos por un destino sean directamente proporcionales al total de viajes producidos en el origen,  $P_i$ , al total de viajes atraídos por el destino,  $A_j$ , a una función  $F(c_{ij})$  del costo de viaje (término de impedancia) y a un factor de ajuste socioeconómico,  $K_{ij}$ . La ecuación que describe los volúmenes de viajes interzonales es:

$$T_{ij} = K_{ij} \times P_i \times A_j \times F(c_{ij})$$

Donde:

- $T_{ij}$  = Número de viajes entre las zonas  $ij$
- $K_{ij}$  = Factores de ajuste
- $P_i$  = Producción de viajes de la zona  $i$
- $A_j$  = Atractividad de la zona  $j$
- $F(ij)$  = Función de impedancia entre las zonas  $ij$

La función de costo del viaje  $F(c_{ij})$  manifiesta el efecto que la separación espacial ejerce sobre los intercambios de viaje. Indica la resistencia a viajes interzonales debida a la separación espacial entre zonas. Esta función mide la probabilidad de realizar un viaje de acuerdo a cada minuto de incremento en el tiempo de duración del mismo.

#### **Calibración del modelo gravitacional**

La calibración del modelo gravitacional consistió en la búsqueda iterativa de la función de impedancia  $F(c_{ij})$ , de tal forma que el histograma de tiempos de viaje estimados reprodujera con buen nivel de aproximación los histogramas de tiempos observados. Asimismo, se verificó la consistencia de los patrones de viajes observados.

La impedancia de viaje fue calculada como función del tiempo de viaje entre las zonas de Tránsito. Las funciones de impedancia utilizadas para la calibración son las siguientes:

- Exponencial:  $F(C_{ij}) = \text{Exp}(-Bc_{ij})$
- Potencial:  $F(C_{ij}) = C_{ij}^{-n}$
- Combinada:  $F(C_{ij}) = C^n ij \exp(-Bc_{ij})$

La calibración del modelo gravitacional se realizó a través del ajuste de la función de impedancia  $F(c_{ij})$  a través de la búsqueda iterativa de los coeficientes que permitieran reproducir el histograma de tiempos observados. Cabe mencionar que se utilizó las mismas funciones para todos los motivos de viaje considerados en el estudio. Los factores,  $K_{ij}$ , empleados por el modelo gravitacional reflejan el efecto sobre los patrones de viajes de las características sociales y económicas particulares de algunas zonas. Este factor de ajuste fue considerado igual a 1 para todos los pares de origen – destino. La tabla 4 muestra los coeficientes utilizados en las funciones de impedancia para el transporte privado y para el transporte público. La distribución de tiempos para el transporte público tomada como parámetro de comparación para la calibración fue la resultante de la encuesta de origen – destino a bordo de unidades de transporte público. Para el transporte privado, la distribución fue encontrada a partir del uso de factores de proporción entre las velocidades de transporte privado y público calculadas mediante el análisis de los estudios de tiempos de recorrido realizados en el proyecto «Asistencia Técnica para Estudios de Transporte Urbano para Lima y Callao» de Booz Allen, Barriga Dall'Orto y Wilbur de 2007. Para verificar la consistencia de la distribución de viajes obtenida en la calibración del modelo gravitacional se verificó los volúmenes obtenidos con los volúmenes observados en las líneas cortina (río Rímac, Av. Javier Prado y Panamericana Sur), considerándose aceptable un grado de precisión de +10

TABLA 4. Metodología para Estimar la Distribución de Viajes

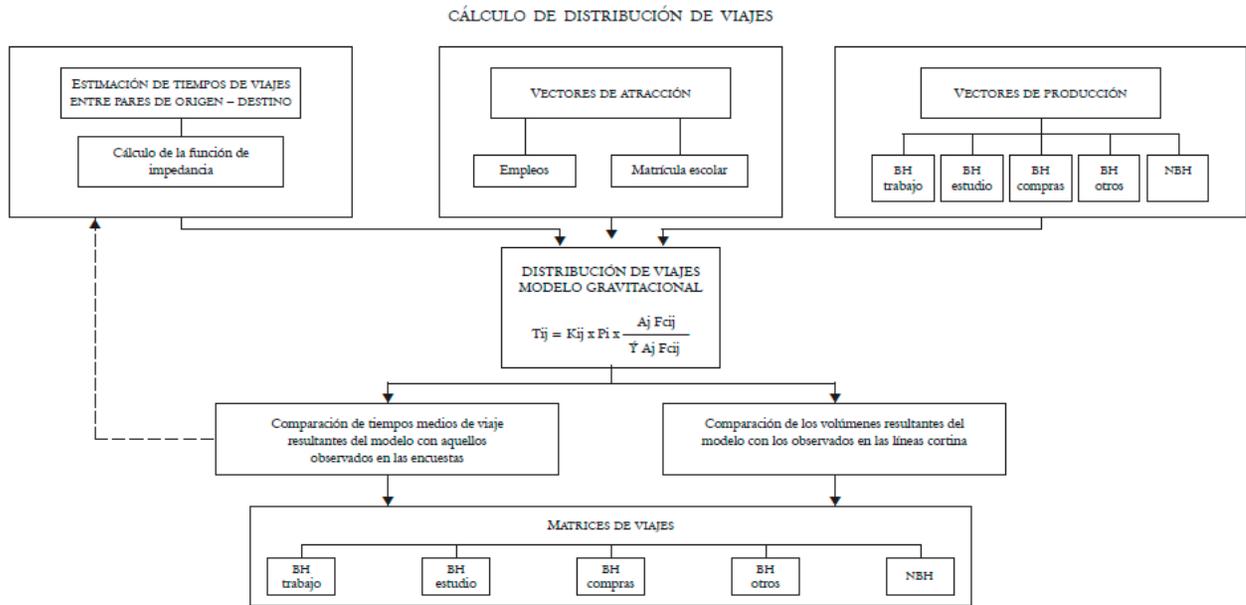
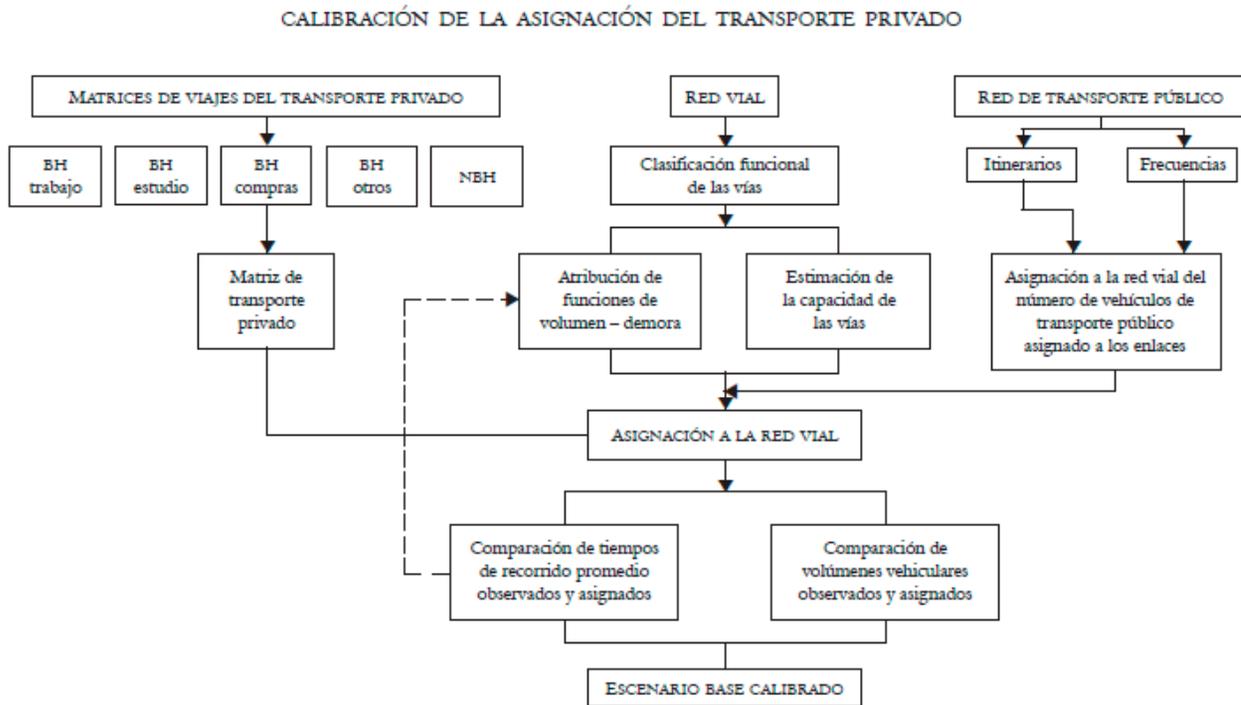


TABLA 5. Metodología Para la Asignación de Transporte Privado



La TABLA 5 muestra la metodología empleada para obtener la asignación del transporte privado. Para hacerlo se utilizó las matrices correspondientes resultantes del modelo de distribución que corresponden a los cinco motivos de Viaje considerados en el estudio. La red vial representada fue clasificada en vías Locales, colectoras, arteriales, expresas y regionales. De acuerdo a la clasificación anterior, se le otorgó la función de volumen – demora a cada arco, así como también la respectiva capacidad a todos los enlaces de la red, siguiendo las capacidades recomendadas por el «Manual de Capacidad de Carreteras» («Highway Capacity Manual »).

TABLA 6. Metodología Para La Asignación de Transporte Público  
CALIBRACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO

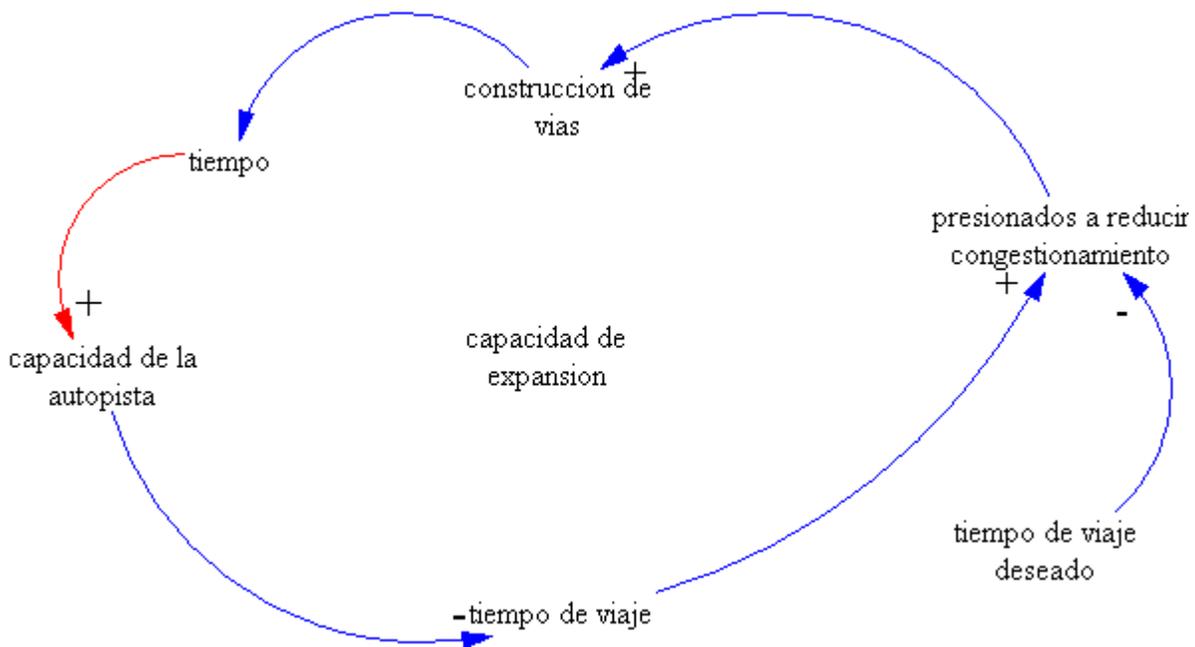
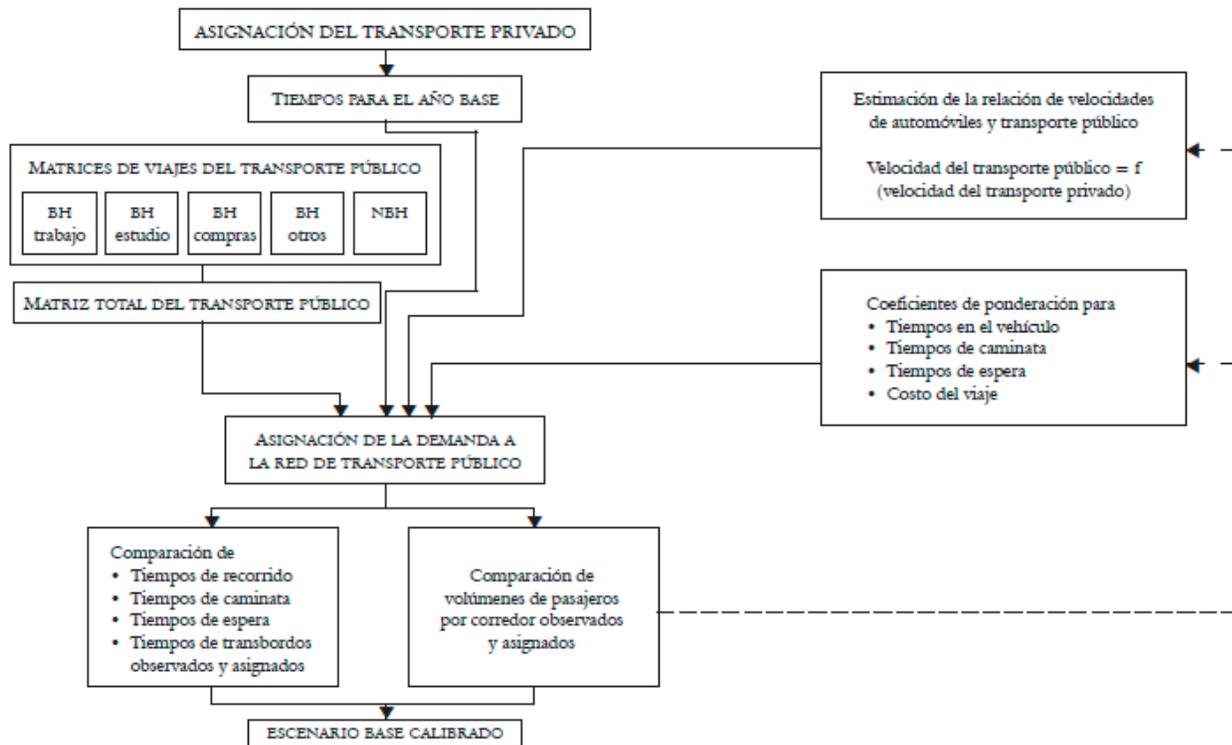


Figura 5. El volumen del tráfico hace que se construyen más carreteras lo que disminuye la congestión al permitir aumentar la capacidad



Modelo de Construcción de autopistas para la Ciudad de Lima

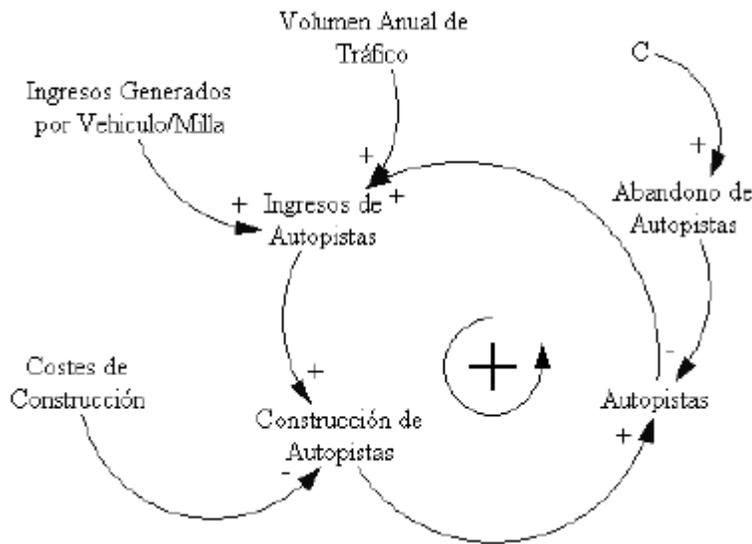


Figura 8 Diagrama Causal Modelo de Construcción de Autopista para la Ciudad e Lima

TABLA 7. Modelo Matemático del diagrama causal

Símbolo	Interpretación	Significado Matemático	Ejemplo
	Para todo lo demás constante, si X aumenta (disminuye) entonces Y aumenta (disminuye) sobre (debajo) de lo que debería. En caso de acumulación, X se añade a Y.	$\frac{\partial Y}{\partial X} > 0$ Ecuación de acumulación: $Y = \int (X + \dots) dt + Y_{t_0}$	
	Para todo lo demás constante, si X aumenta (disminuye) entonces Y disminuye (aumenta) por debajo (sobre) de lo que debería. En caso de acumulación X se resta de Y.	$\frac{\partial Y}{\partial X} < 0$ Ecuación de acumulación: $Y = \int (-X + \dots) dt + Y_{t_0}$	

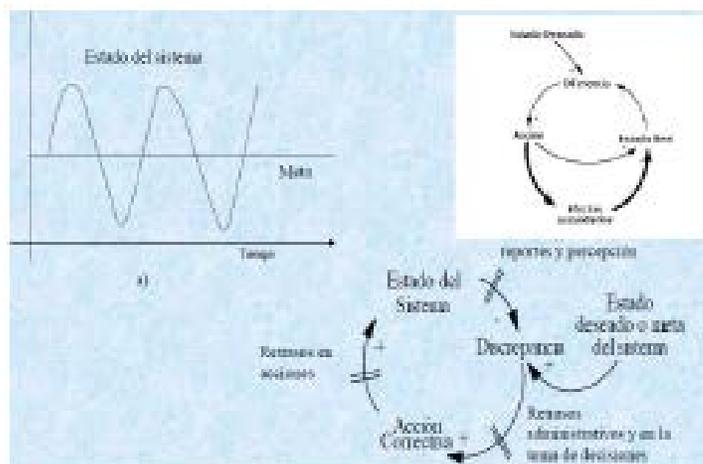
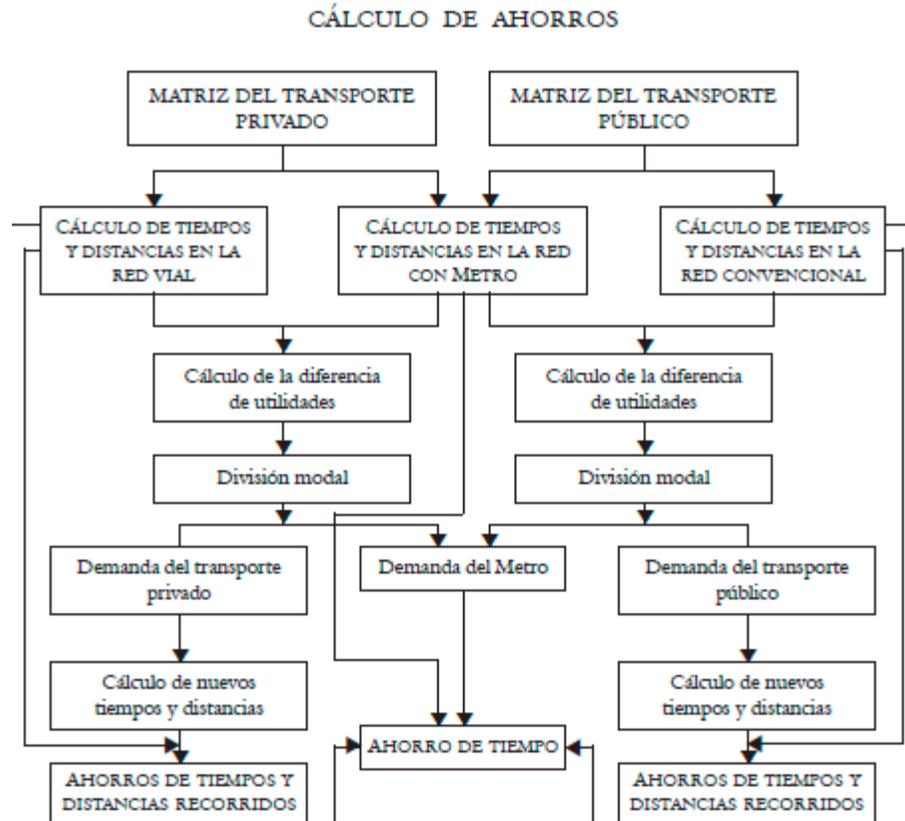


Figura 9. Estado del sistema oscilante

### III.- RESULTADOS

TABLA 8. Metodología del cálculo de ahorro de tiempo y distancia



En la TABLA 8 se muestra la metodología empleada para el cálculo de los ahorros de tiempos y distancias. Como resultado del proceso de pronóstico de la demanda del Metro se obtuvo matrices para:

- Demanda del transporte privado
- Demanda del transporte público

La proyección de los resultados depende de la comprensión de las relaciones causa-efecto, para que el sistema este en crecimiento como se muestra IV.- DISCUSION A menudo, aunque no siempre puede ser útil pensar en términos de deficiencias y excesos. Por ejemplo "hay demasiada gente que pierde tiempo en los viajes de transporte público" o "la demanda de transporte público está creciendo más rápido, que nuestra capacidad para proporcionarla a un costo financiero y ambiental aceptable". Incluir la palabra "demasiado" en nuestra definición del problema resulta útil; por ejemplo, "demasiado grande", "demasiado pequeño", "creciendo demasiado lento", "creciendo demasiado rápido". Las dos últimas frases nos recuerdan que los problemas que merecen llamar nuestra atención no necesariamente son un problema del presente, pero pueden serlo en un futuro cercano si no se hace algo. V.- CONCLUSIONES

- 1) El tráfico en Lima es cada vez más caótico debido a múltiples razones, tales como:
  - a. Una infraestructura vial cada vez más insuficiente, a pesar del creciente número de obras ejecutadas,
  - b. La creciente densificación urbana y el incremento de la capacidad adquisitiva que ocasiona una mayor demanda de vehículos.
  - c. El deficiente servicio de transporte público masivo que desalienta su uso, a favor del transporte no masivo,
  - d. La falta de planificación urbana
  - e. La falta de capacidad técnica del Municipio para diagnosticar problemas, definir e implementar soluciones integrales, sugerir y promover el uso de métodos constructivos más eficientes, promover concesiones de autopistas, etc.
- 2) El caótico tráfico de Lima ocasiona enormes pérdidas, debido a:
  - a. Pérdida en horas-hombre y pérdida de combustible por la congestión vehicular
  - b. Daño a la salud mental de los viajeros urbanos
  - c. Estas enormes pérdidas deben tomarse en cuenta al momento de evaluar la rentabilidad social, debido al gran beneficio que significa para la población pobre, el

incremento significativo de la calidad del servicio del transporte masivo.

3) El proceso para la solución del tráfico de Lima, requiere de:

- a. Redefinición del parque vehicular hacia una distribución más racional, con predominancia de buses de gran tamaño (aunque sea sin corredor segregado) y el relego de los microbuses a líneas alimentadoras en la periferia de la ciudad. Estas medidas son urgentes.
- b. La preparación de Expedientes Técnicos que permitan una economía de escala tal, que se haga factible el inicio del uso de metodologías constructivas más eficientes, como el muro-diafragma, el reciclado de pavimentos, etc. Además estos Expedientes Técnicos debieran premiar la menor interrupción del tráfico en tiempo y espacio, durante la ejecución de los contratos.
- c. Ejecutar estudios que actualicen el Plan Maestro de la Ref.1, y que lo lleven a un mayor detalle tanto de las características ingenieriles de los Proyectos como del cronograma de ejecución hacia el 2025.
- d. Mejorar el área de recursos técnicos, para que se encarguen de llevar a cabo los estudios señalados, y en coordinación con el MTC
- e. Debido al alto porcentaje de subsidio que significan las inversiones para los corredores segregados y para las líneas del Metro, entonces ambos tipos de obra deben ejecutarse como obras públicas; mientras que solo debiera concesionarse su operación y mantenimiento. Por otro lado, las autopistas urbanas debieran procurar concesionarse, pues no requieren subsidio; pero para ello se requiere buenos estudios que acoten los riesgos a los posibles inversionistas, pues el costo de estos innecesarios riesgos finalmente se cargan al usuario y/o al presupuesto público. VI.-

## REFERENCIAS

- 1) Plan Maestro Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima – Callao, Agosto-2005:<http://www.protransporte.gob.pe/pdf/biblioteca/2004/Plan%20Maestro04.pdf> (son 119 Mb)
- 2) Jorge Coll Calderón, "Muros diafragma: aporte a la solución del tráfico de Lima", Congreso de Infraestructura Vial, ICG, Lima, Octubre- 2010:  
<http://www.sendspace.com/file/2b3yz8>  
;<http://www.sendspace.com/file/azzm w5>
- 3) Plan Maestro para el transporte Urbano de Lima Metropolitana de Lima y Callao, Pro transporte, 2011
- 4) Resumen Ejecutivo para el Transporte Urbano de Lima Metropolitana.. ProTransporte, 2013

## 74. IMPACT ANALYSIS ON PROFITS FOR PRODUCERS IN THE AGRICULTURAL SUPPLY CHAIN OF THE VILLAGE OF MONTERREY AT USE A COLLECTION CENTER

**JESUS HERNAN ECHEVERRIA BEDOYA, VICTOR HUGO HERNANDEZ, DIEGO LEON PEÑA OROZCO**

Universidad del Valle sede Buga, Buga, Valle del cauca, Colombia.  
jesus.echeverria@correounivalle.edu.co, victor.hugo.hernandez@correounivalle.edu.co,  
diego.l.pena@correounivalle.edu.co

### ABSTRACT

This document it aims an approximation through of system dynamics of present conditions in the agri-food supply chain of Monterrey district, exposing the particular case of banana producers not associated with a guild. In this work compared the economic situation of producers under current conditions of chain study anti the proposal implementation to a collection center in the zone. To achieve the goal, a characterization was developed based in the agri-food supply chain through information gathering in the zone. Simulation was developed in two scenarios, for the current system as well as for a supply chain integrated (collection center) using Software Vensim DSS. At the end behavior is compared of the models in terms of material and economic flow in the chain. As a result of the simulation of the proposed model, is identified the increase in the cost of product distribution incurred by the producer, on the other hand, the profits perceived by producers in the proposed model exceeds perceived profits in the simulation of the current model. Finally it is concluded that consolidation of products allows producers to distribute a higher price to generate an increase in profits.

**KEYWORDS:** Utilities of farmers, district of Monterrey, Impact simulation, Collection center.

### I. INTRODUCCIÓN

Segun Vidal Holguín [1] La cadena de abastecimiento o suministro (Tomando los dos términos como sinónimos), se entiende como el conjunto de todos los procesos y actividades desarrolladas con el fin de satisfacer tanto las necesidades del consumidor como las de los agentes involucrados, de este modo los temas relacionados con los procesos logísticos de optimización de cadenas de abastecimiento cobran gran importancia, debido a que pueden generar una ventaja competitiva en cualquier organizacion. El buen desarrollo de las actividades generadas dentro de una cadena de abastecimiento es en principio influenciado por distintos agentes y factores que participan en toda la cadena de suministro [2].

Existen diferentes tipos de cadenas de suministro y cada un posee sus particularidades, según Estupiñán y Guayana [7] lo que diferencia a una cadena de suministro agrícola (Agroalimentaria) de otro tipo de cadenas es la importancia que se le da a la calidad y el flujo del material (Productos agrícolas). Así mismo, Teimoury [8] identifica que en una cadena

agroalimentaria se encuentran agentes como los productores (Agricultores), mayoristas, minoristas y consumidores finales. Teniendo en cuenta la clasificación anterior, Teimoury establece que los factores como la oferta, la demanda y la retribución monetaria realizada a cada uno de los agentes participantes requieren gran atención. Así la evaluación del rendimiento de las cadenas agroalimentarias toma gran importancia.

La implementación de la dinámica de sistemas para la evaluación de una cadena de abastecimiento permite una mayor comprensión del caso de estudio, esto lo establece Hernández y Sánchez [9] mencionando que la implementación de la teoría general de sistemas explica el funcionamiento de la cadena de suministro, su composición y sus flujo, así mismo, su aplicación permite delimitar el sistema y su entorno. (Amézquita y Chamorro, 2013) [11] mencionan que es necesario utilizar modelos y herramientas de simulación para entender el comportamiento de las variables en un esquema global permitiendo identificar factores determinantes en el sector económico y productivo de un sistema que facilita identificar el comportamiento de

las variables y su papel en la cadena. Por otra parte (Mancilla, 1999) [12] propone que al trabajar con modelos sistémicos, es necesaria la implementación de escenarios o casos en los cuales se identifiquen alternativas que potencien las particularidades de un sistema en evaluación.

Debido a la complejidad que representa la evaluación de una cadena de suministro agroalimentaria, en este documento se pretende hacer una aproximación al comportamiento del flujo material y monetario de la cadena de abastecimiento frutícola del corregimiento de Monterrey, evaluando el caso de estudio de los productores de banano por medio de la dinámica de sistemas con el uso de la herramienta Vensim DSS. En el proceso se busca evaluar el comportamiento de la cadena de abastecimiento considerando la propuesta de incluir un centro de acopio que permita la consolidación de los productos para su posterior comercialización, con la expectativa de mejorar el ingreso para los agricultores.

El presente trabajo desarrolla el tema considerando en primera instancia la descripción de la cadena de abastecimiento agrícola objeto de estudio identificando aspectos clave de la zona en cuestión y de la cadena agroalimentaria, posteriormente se desarrolla el planteamiento del problema, seguido por el caso de estudio y la propuesta metodológica; se presenta la modelación de la situación actual de la cadena y la simulación de la propuesta, se identifican las variables del modelo y su fuente, se muestran los resultados obtenidos y se desarrolla una discusión en torno a ellos y por último se generan las conclusiones.

## II. DESCRIPCIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO AGRÍCOLA DEL CORREGIMIENTO DE MONTERREY

### A. Corregimiento de Monterrey

El corregimiento de Monterrey se encuentra situado en la zona rural del municipio de Guadalajara de Buga en el departamento del Valle del Cauca y comprende las veredas de La Unión, San Antonio, Miraflores, Miravalle y Monterrey. El corregimiento se encuentra ubicado sobre la vertiente oriental de la Cordillera Central, al sur oriente de la cabecera municipal en la zona rural media a una distancia de 13 a 20 kilómetros de la zona urbana de Buga, comprende un área de 3.171,1 hectáreas con un 40% de las vías de acceso pavimentadas y con minifundios con área promedio de 19 hectáreas [10]. En

la Fig.1 se puede observar el mapa del corregimiento de Monterrey.

Según el documento "Plan de Vida" desarrollado entre los meses de Marzo de 2010 y Junio de 2011 por el IMCA (Instituto Mayor Campesino), el corregimiento de Monterrey se encuentra a una altura oscilante entre 1400 a 1500 m.s.n.m. Tiene una temperatura promedio de 19°C y una precipitación promedio de 1600 mm/año, la topografía de la Zona se caracteriza por sus montañas leves (poco inclinadas) y partes planas, suelos franco arenosos, con excelente capa vegetal.

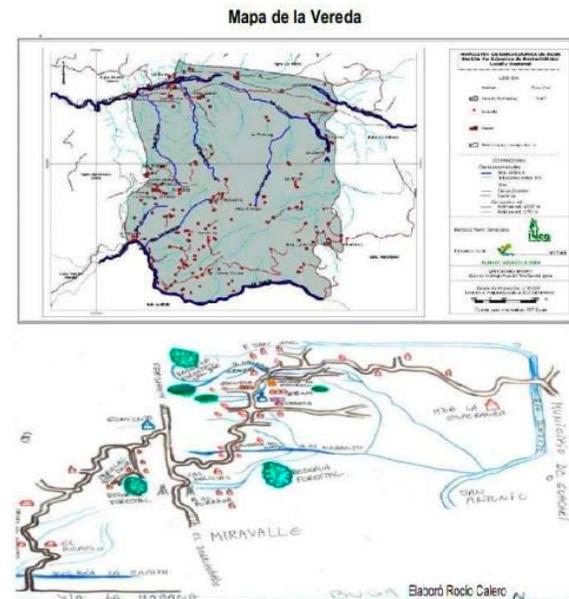


Figura 1. Mapa geografico y politico del corregimiento de Monterrey

### B. Cadena de abastecimiento del corregimiento de Monterrey

Actualmente se encuentra habitado por 242 familias, de las cuales 180 se dedican a las actividades agrícolas. La comercialización de los productos por parte de estas familias se hace de manera directa, obteniendo de acuerdo con [10] a un precio muy bajo, que es impuesto por los compradores, adicionalmente en el modelo no se toman en cuenta los proveedores de insumos.

Los eslabones que componen la cadena de abastecimiento son los siguientes:

#### Producción

La cadena de abastecimiento agrícola del corregimiento de Monterrey cuenta con 180 familias que se dedican a las actividades agrícolas para producir frutas y verduras como son: banano, plátano, café, lulo, cítricos, mora y

cultivos de pan coger (frijol, maíz, yuca y hortalizas), que las identificamos como las que componen el eslabón de producción (Ver Apéndice A).

Las labores que se realizan para llevar a cabo las diferentes actividades agrícolas van desde la preparación del terreno hasta la cosecha y venta (preparación suelo, trazado, ahoyado, siembra, fertilización, deshierbas, control fitosanitario, recolección y venta).

Entre la siembra y la cosecha el tiempo transcurrido depende del ciclo productivo de cada cultivo según que sea de ciclo corto o ciclo largo (de 30 a 80 o de un año o más respectivamente). Las siembras coinciden con la época de lluvias entre los meses de Abril, Mayo, Octubre y Noviembre, ya que la mayoría no disponen de distrito de riego que permita hacer las siembras en cualquier época del año; la cosecha coincide con los restantes meses secos o de verano.

**Comercialización**

En cuanto a la comercialización de los productos agrícolas producidos en el corregimiento de Monterrey, se identifica que una de las actividades productivas más relevantes en la zona es el cultivo del banano para lo cual se encuentran agremiados en asociaciones Asoproasa y Asoproagro desde los cuales comercializan en grandes plataformas (almacenes de cadenas locales y regionales).

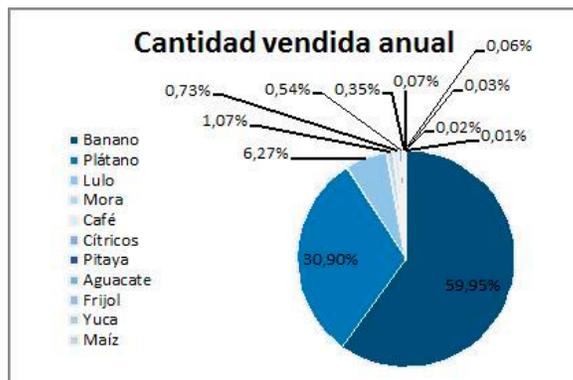


Figura 2. Porcentaje de ventas totales con base en los kilogramos vendidos por año del corregimiento.

Los productores no agremiados, comercializan a través de intermediarios, quienes fijan el precio al que compran el producto y también establecen el precio al que se vende el producto al cliente final. En términos cuantitativos los productos son comercializados con intermediarios en un porcentaje de 43,41%, asociaciones con 24,03%, almacenes con 5,56%,

tiendas de barrio con 2,12% y particulares con un porcentaje de 24,89%. Transporte y distribución.

Los productores, dependiendo de la forma como vendan sus productos, pueden asumir o no los costos de transporte, utilizando una variedad de vehículos para su distribución (Camión, Jeep, Camioneta, Chiva, Moto). Para la comercialización se determina que en el 62% de los casos los productores no son los encargados de transportar sus productos, debido a que los compradores los recogen o la venta se realiza de forma directa en la zona de producción. Del 38% restante que incluye el transporte dentro de su actividad de venta, el 63,2% utiliza un medio de transporte alquilado o el camión chiva que recorre el corregimiento, y el 36,8% cuenta usa un vehículo propio. La distribución de los productos es realizada por los compradores en la mayoría de los casos.

**III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A ESTUDIAR**

Se han identificado ciertas problemáticas relacionadas con los modelos económicos y productivos en las zonas rurales de Guadalajara de Buga, entre las cuales se encuentra el corregimiento de Monterrey, [4] la baja incorporación de criterios gerenciales en la producción agropecuaria y una baja articulación en la cadena de valor de los productos agrícolas afectan esta zona rural, limitando su evolución y desarrollo.

Una de las mayores limitaciones que se encuentra en los grupos de pequeños productores es la comercialización de sus productos, en gran medida causada por la falta de conocimiento adecuado acerca de la demanda de los mismos, sus costos de producción y las normas que rigen los procesos de intercambio [10]. El 67% de los productores de banano en la zona desconocen el costo de producción de sus productos (Ver Apéndice B), es decir, que en la mayoría de los casos los productores no conocen si es factible producir banano o si es posible una nueva técnica o convenio para incrementar su ganancia; solo el 52% de ellos realizan el presupuesto de los insumos agrícolas requeridos. A esto se suma el criterio para establecer el precio de venta de sus productos, según los productores el criterio que se presenta con mayor frecuencia es el criterio del comprador (El comprador define el precio al cual él compra los productos) con un porcentaje de participación de 80%, seguido por el criterio demanda (la demanda influye en el precio del producto) con una participación de 11,67%, el acuerdo entre el productor y

el comprador tiene una frecuencia de un 5%, y por último el criterio calidad con la menor frecuencia y con un porcentaje de participación del 3,33%. Lo anterior deja ver que en la mayoría de las ocasiones el productor no tiene control sobre el precio de venta de sus productos, por lo tanto no tiene la posibilidad de planificar con certeza su presupuesto. Los criterios costo y caducidad no presentan ninguna influencia en la determinación del precio de venta de acuerdo a la información proporcionada por los productores de la zona (Peña et al., 2015).

La comercialización opera como un mecanismo de coordinación de las transferencias entre los distintos integrantes de la cadena productor-consumidor [5], en el caso de la cadena agroalimentaria en estudio el 48,15% de los productores venden sus productos a intermediarios, lo cual representa el 43,75% de los productos, el porcentaje restante es comercializado con asociaciones, almacenes, particulares y galerías. La principal dificultad para la comercialización se encuentra en el transporte del producto que representa el 54,35% de los casos, esto se justifica por el estado de las carreteras y por las altas tarifas, debido a que en repetitivos casos el medio de transporte es la chiva camión que hace el recorrido por el corregimiento con una tarifa de \$2.000 por canastilla de banano, es decir, 133 \$/kg aproximadamente [10]. Teniendo en cuenta que el precio de venta promedio en las plazas de mercado por kilogramo de banano es de 600 \$/Kg y que en promedio un agricultor puede producir y vender a la plaza 539 Kg/mes y 532 Kg/mes respectivamente, su utilidad tras haber restado sus costos de producción promedio y transporte (166,5 \$/Kg y 133 \$/Kg respectivamente) corresponden a 158.701 \$/mes, esto significa solo un 24,6% del salario mínimo mensual vigente Colombiano de \$644.500 Pesos [10].

En conclusión, utilizando como referente el trabajo realizado por [6] en el cual se realiza un análisis de prospectiva de la cadena productiva de mango bajo el enfoque de dinámica de sistemas, este trabajo aborda la cadena de abastecimiento agrícola del corregimiento de Monterrey donde se compara el estado actual del sistema con la alternativa que presenta utilizar un centro de acopio para mejorar la comercialización de los productos, se realiza una simulación de la situación actual del sistema analizando las utilidades de los productores y se compara con las utilidades que arroja la simulación del sistema incluyendo un centro de acopio. Solo se tomó en cuenta el eslabón productor – comercializador en la primera simulación, mientras que en la segunda simulación se tomaron en cuenta los

eslabones productor – centro de acopio – comercializador.

#### IV. CASO DE ESTUDIO.

El caso de estudio corresponde al proceso de comercialización del banano, específicamente de los productores no asociados que se encuentran en el corregimiento de Monterrey. Este proceso se lleva a cabo desde el momento en que el productor alista sus productos y los apila para su venta, la cantidad alistada corresponde a la cantidad disponible para la venta al intermediario, esta viene dada por la diferencia entre la cantidad producida y la cantidad consumida. Posteriormente estos productos que ahora pertenecen al intermediario tras haber realizado una transacción financiera al productor agrícola, se llevan desde las zonas de recolección del producto (que en la mayoría de las ocasiones corresponde al lugar de producción) hasta el comercializador (Plaza de mercado). En el proceso de transporte desarrollado desde la zona de recolección hasta el comercializador se considera que el embalaje no presenta una protección completa contra posibles daños a los productos, por lo tanto se tienen productos defectuosos en el proceso de transporte. A continuación las unidades de producto disponible para la venta del intermediario son propiedad del comercializador al desarrollar una transacción económica al intermediario. En el caso de estudio el intermediario acarrea el costo por deshacerse de los desperdicios (productos defectuosos por transporte), y el costo por transportar las mercancías desde la zona de producción hasta la zona de comercialización. El productor solo considera el costo de producción, el cual está dado por el costo por Kilogramo de producto cosechado y por la cantidad producida del mismo. Las cantidades o flujos entre agentes vienen dadas por factores de demanda.

En el desarrollo del caso propuesto se integra a la cadena en estudio un centro de acopio integrado por los mismos productores de la zona. En este modelo también se presenta la cantidad disponible para la venta la cual se calcula con la diferencia entre lo que se produce y lo que se consume, esta cantidad disponible es la cantidad que se alista para ser transportada al centro de acopio. El transporte del producto entre el centro de acopio y el comercializador genera posibles defectos en el producto, estos se consideran como imperfectos por transporte, por otro lado, el transporte entre los productores y el centro de acopio es

relativamente corto, y en el modelo propuesto no se consideraran daños debido a este. Debido a la manipulación del producto en el centro de acopio, se pueden presentar desperdicios del proceso considerados en el modelo propuesto como desperdicios por procesos en el centro de acopio. Al final del proceso, las ventas realizadas al comercializador por parte del centro de acopio son el resultado de la diferencia entre los productos despachados al centro de acopio, menos los imperfectos por transporte y los desperdicios por procesos en el centro de acopio. Los productos pasan a ser propiedad del comercializador al realizar una transacción económica al centro de acopio. Los egresos del centro de acopio corresponden a los costos incurridos por los desperdicios presentes y los costos por transporte desde el productor hasta el centro de acopio y desde el centro de acopio hasta el comercializador.

## V. METODOLOGIA PROPUESTA

Para el desarrollo del estudio de la cadena agroalimentaria del corregimiento de Monterrey se implementó la siguiente metodología.

Desarrollo la caracterización de la cadena agroalimentaria en estudio por medio del levantamiento de información de primer y segundo orden, esta hace parte del trabajo desarrollado por (Peña et al., 2015) [10], a continuación se identificaron los agentes participantes y los flujos relacionados (Material, económico y de información) con el canal comercial en cuestión. Con base en la información obtenida y con las particularidades de la cadena objeto de estudio, se desarrolla el diagrama causal del caso. Posteriormente se desarrolla el diagrama de flujos inicial que represente tanto los procesos como el flujo material y el flujo económico de la cadena en estudio. Tomando en consideración la propuesta de la implementación de un centro de acopio se determina el caso propuesto al identificar los agentes y flujos relacionados (Material, económico y de información) con el nuevo modelo. Teniendo en cuenta la propuesta se desarrolla un diagrama de flujos en el cual se presenten tanto los procesos como el flujo material y el flujo económico del modelo propuesto. Posterior al proceso de simulación se compara la situación económica del agricultor tanto en el modelo inicial como en el propuesto para identificar si el canal de comercialización propuesto es factible. Por último se concluye sobre los resultados obtenidos.

## VI. MODELO ACTUAL DE LA CADENA EN ESTUDIO

A continuación se presenta el diagrama causal del modelo actual, para su desarrollo se utilizó el software Vensim DSS (ver figura 3).

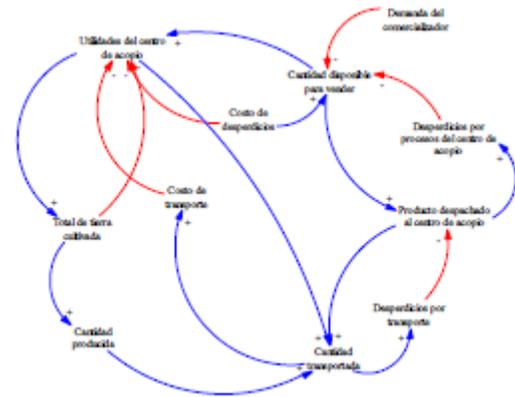


Figura 3. Diagrama Causal.

En este diagrama causal se identifican elementos como los productos cosechados que sirven de insumo para factores como desperdicios, cantidades vendidas y cantidades transportadas, así mismo estos factores influyen en las actividades financieras presentadas como el incremento o decremento de los ingresos a los productores por la venta de sus productos y el incremento o decremento de los ingresos de los distribuidores al venderle los productos a los comercializadores. En el diagrama se puede identificar como los bucles que contienen los costos de transporte y de desperdicio son de compensación y dirigen el estado del sistema hacia el equilibrio, adicionalmente el bucle que contiene el total de tierra cultivada y las utilidades también es de compensación.

Se presenta el diagrama de flujos del caso actual (ver figura 4) en este diagrama se identifican 4 variables de nivel los cuales se clasifican en dos tipos, el primero corresponde al nivel de materiales, el segundo corresponde al nivel económico. En el primer tipo se identifican las cantidades de producto disponible para la venta, estos son alimentados por flujos que están limitados por la capacidad de producción y por factores de demanda, así mismo poseen flujos de salida que son limitados por factores de demanda y disponibilidad del producto, en el segundo tipo se identifican las utilidades percibidas por los agentes participantes, estos niveles son alimentados por flujos correspondientes a los ingresos derivados de la venta de los productos disponibles, sus flujos de salida corresponden a los costos de compra de productos a sus proveedores

directos y por costos asociados al transporte y los desperdicios percibidos.

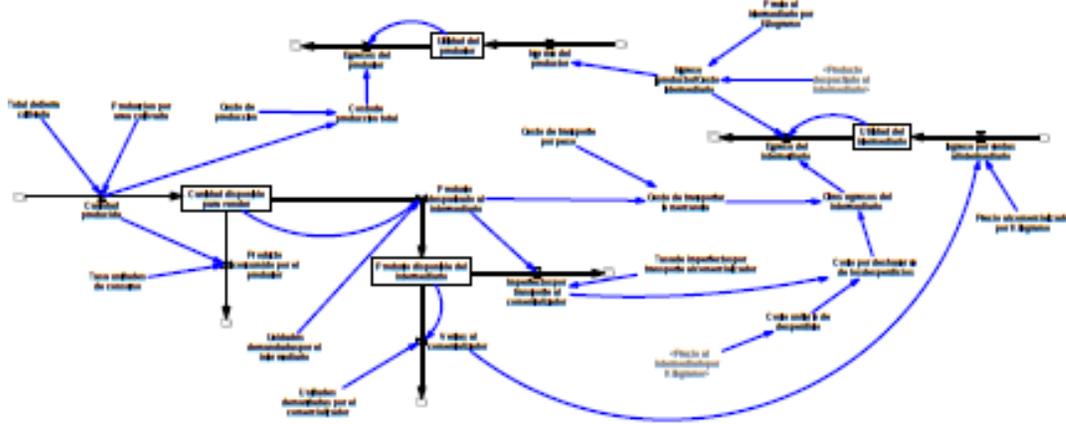


Figura 4. Diagrama de forrester del caso inicia

### VII. MODELO PROPUESTO DE LA CADENA EN ESTUDIO

Se presenta el diagrama de flujos del caso propuesto (ver figura 5) en este diagrama se identifican 3 variable de nivel los cuales se clasifican como en el anterior diagrama de forrester en dos tipos, el primero corresponde al nivel de materiales, el segundo corresponde al nivel económico. En el primer tipo se identifican las cantidades de producto disponible para la venta, estos son alimentados por flujos que están limitados por la capacidad de producción y por factores de demanda, así mismo poseen flujos de salida que son limitados por factores de demanda, disponibilidad del

producto y desperdicios incurridos en el proceso de acopio y transporte, estos proceso se desarrollan por medio de los eslabones (Productor, centro de acopio y comercializador), en el segundo tipo se identifica la utilidades percibidas por los agricultores por haber vendido sus productos a un comercializador de forma directa, esto es posible gracias al centro de acopio que es organizado y operado por los mismos agricultores, este nivele es alimentado por flujos correspondientes a los ingresos derivados de la venta de los productos disponibles al comercializador, sus flujos de salida corresponden a los costos de producción, costos asociados al transporte y los desperdicios percibidos.

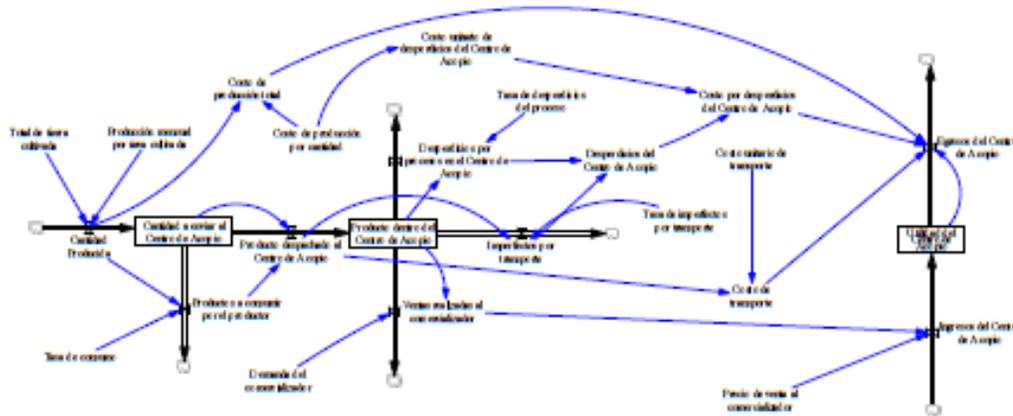


Figura 5. Diagrama de forrester del caso propuesto

## VII. IDENTIFICACION DE VARIABLES DEL MODELO.

El costo unitario de transporte corresponde al costo por kilogramo de producto transportado de un agente a otro en la cadena, su valor promedio es de 133 \$/Kg y el costo de producción promedio es de 166,5 \$/Kg, estos valores son identificados en la caracterización de la zona (Peña et al., 2015) [10]. La producción mensual por área cultivada se definió con la función RANDOM NORMAL con una cantidad mínima de 333 Kg\*mes/hectárea, cantidad máxima de 3467 Kg\*mes/hectárea, con un promedio de 1210 Kg\*mes/hectárea con una desviación estándar de 666,4 Kg\*mes/hectárea. El precio de venta al comercializador se definió con la función RANDOM NORMAL en la cual se identificó como precio mínimo 375 \$/Kg, precio máximo 800 \$/Kg, con un promedio de 561 \$/Kg y una desviación estándar de 53,8 \$/Kg, los precios de venta al comercializador se calcularon a partir de una muestra de los precios mensuales para el año 2014 a los que un establecimiento comercializador local de frutas compra el kilogramo de banano. La cantidad demandada del comercializador se definió con la función RANDOM NORMAL en la cual se identificó como demanda mínima 2314 unidades, demanda máxima 3980 unidades, con un promedio de 3207 unidades y una desviación estándar de 450 unidades, esta cantidad fue definida a partir de las ventas en kg de banano realizadas al mes por un establecimiento comercializador local de frutas. La cantidad demandada del intermediario se definió con la función RANDOM NORMAL en la cual se identificó como la demanda mínima 171 unidades, como demanda máxima 435, con un promedio de 285 unidades y una desviación estándar de 97 unidades, esta cantidad fue definida de acuerdo a la producción mensual de un agricultor del corregimiento, entendiendo que todo lo que produce es igual a todo lo que tendrá disponible para la venta.

Los precios de venta al intermediario fueron definidos a partir de las encuestas y la cantidad producida por los agricultores fue definida en el proceso de caracterización al alzar la información de primer orden. Los desperdicios por transporte y por manipulación en el centro de acopio (2% y 1% respectivamente), fueron el resultado del dialogo directo con los centros de acopio y los comercializadores pertenecientes a la cadena en estudio los cuales estimaron estas tasas.

## VIII. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Al realizar la simulación se analiza la utilidad de los productores agrícolas generada con la situación actual y las utilidades que tendrían los productores si usaran el centro de acopio. De la simulación se destaca que con el centro de acopio los productores comercializarían sus productos directamente con los comercializadores de la cadena de abastecimiento, dejando de utilizar los intermediarios.

Al realizar la simulación se pudo observar que la utilidad generada para un intermediario es inferior que la de los productores, pero es claro que los intermediarios solo realizan la labor de transportar el producto producido hasta los comercializadores, los intermediarios generan utilidades sin realizar una inversión elevada en la cadena de abastecimiento, esta utilidad de los intermediarios la consideramos como una porción adicional de utilidad que podrían tener los productores si no utilizaran intermediarios para realizar su comercialización. (Ver figura 6)

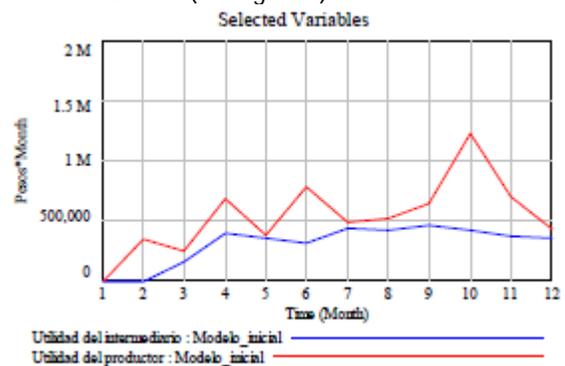


Figura 6. Utilidades de los productores vs intermediarios

Teniendo en cuenta la premisa anterior se realizó la simulación de la cadena de abastecimiento incluyendo un centro de acopio, para esta simulación ya no se cuenta con la participación de los intermediarios, esto permite que los productores comercialicen su producto a un precio más elevado, este precio de venta es el mismo precio de venta que tienen los intermediarios en el modelo inicial cuando comercializan el producto hacia los centro comercializadores, pero también genera que los productores tengan costos adicionales al costo de producir su producto, estos nuevos costos incluyen el costo de transporte, el costo de pérdidas por transporte y por manipulación del producto dentro del centro de acopio, sin embargo la utilidad obtenida para los productores es mayor que en la situación inicial (ver figura 7).

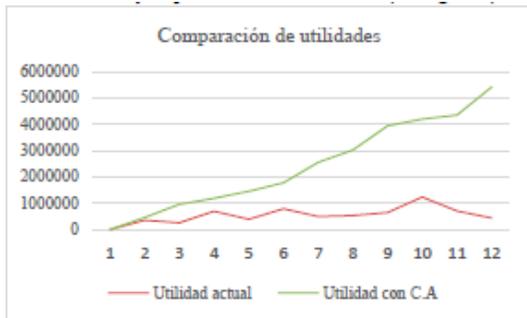


Figura 7. Utilidades de los productores vs utilidades con C.A

Este aumento en las utilidades se presenta gracias a que el aumento en los precios de venta es mayor que los aumentos en los costos (ver figura 8).

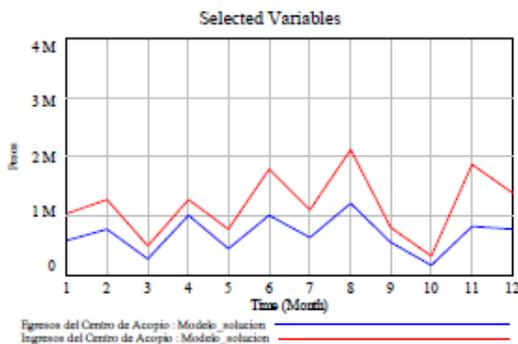


Figura 8. Egresos vs Ingresos

Se hace un análisis de la variable "total de tierra cultivada" para ver qué tan sensibles son las utilidades hacia el aumento de la cantidad de tierra cultivada, pensando que la idea del centro de acopio conseguirá que los productores deseen producir más lo que implica mayor cantidad de terreno del que actualmente están cultivando. La cantidad inicial se multiplicó por factores de 2, 2.5 y 3, observando que para valores que sean mayores al doble de la cantidad de tierra cultivada inicialmente se presentan perdidas económicas, esto permite concluir que la producción del producto agrícola debe estar limitada para no incurrir en pérdidas. (Ver figura 9)

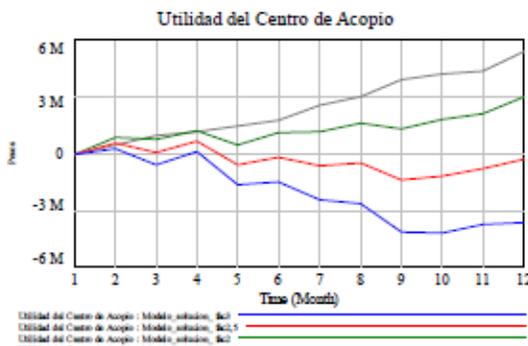


Figura 9. Aumentos en el total de tierra cultivada

Se hace un análisis para la variable "costo unitario de transporte" para determinar qué tan fuerte es el impacto generado por un aumento en el costo de transportar, para el análisis la variable es multiplicada por factores de 2, 2.5 y 3, obteniendo que un aumento drástico en los costos de transporte impacta negativamente en las utilidades de los productores. (Ver figura 10)

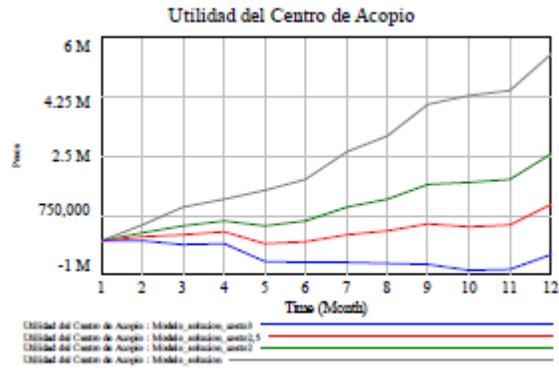


Figura 10. Aumentos en el costo unitario de transporte

Finalmente se concluye que el centro de acopio genera una mejora significativa en las utilidades de los productores debido a que se consolida el producto y se puede distribuir a un precio más elevado, sin embargo la cantidad de tierra cultivada limita estos beneficios, al aumentar en grandes cantidades la cantidad de tierra cultivada produce que los costos de operación sean elevados y no se reporten utilidades para los productores. Adicionalmente se comprueba que la variable de costo de transporte actúa como limitante del crecimiento de las utilidades de los productores, esto permite concluir que en meses de lluvia donde la carretera se encuentra en malas condiciones y los costos de transportar el producto aumentan se debe tener un equilibrio en las cantidades a enviar al comercializador porque pueden generarse pérdidas para los productores.

Finalmente se sugiere que para futuros estudios es necesaria la investigación en la generación de valor y la capacitación de los agricultores en torno a factores como los costos de producción y mejores prácticas agrícolas.

## APÉNDICE

*Apéndice A.* Información de producción y ventas en Kg/año en el corregimiento de Monterrey.

INFORMACIÓN CUANTITATIVA				
Cultivo	Número de cultivos	Cantidad producida anual (kg)	Cantidad vendida anual (kg)	Porcentaje de participación en ventas
Banano	43	522.320	516.114	57,46%
Plátano	36	310.980	303.398	33,78%
Lulo	6	61.160	53.960	6,01%
Mora	3	9.290	9.238	1,03%
Café	4	6.630	6.255	0,70%
Cítricos	5	5.470	4.660	0,52%
Pitaya	1	6.000	3.000	0,33%
Aguacate	1	600	600	0,07%
Frijol	3	926	559	0,06%
Yuca	2	279	254	0,03%
Maíz	1	150	150	0,02%
Zapayo	1	100	100	0,01%
<b>TOTAL</b>	<b>106</b>	<b>923.905</b>	<b>898.288</b>	<b>100%</b>

Apéndice A. Tomado de (Peña et al., 2015)

*Apéndice B.* Promedios de costos de producción en \$/kg. Corregimiento Monterrey.

Parcelación	Costos de producción (\$/kg)											
	Banano	Plátano	Lulo	Mora	Café	Cítricos	Pitaya	Aguacate	Frijol	Yuca	Maíz	Zapayo
La unión	212	178	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Miraflores	127	127	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Miravalle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monterrey	187	335	2000	-	3625	-	200	-	400	-	-	-
San José	140	253	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio</b>	<b>166,6</b>	<b>223</b>	<b>1500</b>	-	<b>3625</b>	-	<b>200</b>	-	<b>400</b>	-	-	-

Apéndice B. Tomado de (Peña et al., 2015)

## REFERENCIAS

- [1] Vidal Holguín, C. J. (2011). Introducción a los sistemas de transporte y optimización de cadenas de abastecimiento. (Programa editorial - Universidad del Valle, Ed.). Santiago de Cali, Colombia.
- [2] Palma-mendoza, J. A. (2014). International Journal of Information Management Analytical hierarchy process and SCOR model to support supply chain re-design. International Journal of Information Management, 34(5), 634–638. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2014.06.002
- [3] Pérez Correa, E. (1998). Una visión del desarrollo rural en Colombia, 41, 7–20.
- [4] Camara de comercio de Buga. (2013). Informe agrop Buga 2010 - 2013 y propuesta nodos (pp. 1–25). Guadalajara de Buga.
- [5] Cattaneo, C. A., & Lipshitz, H. (2008). Criterios para solucionar problemas de comercialización de productos agropecuarios en pequeña escala. Buenos Aires - Argentina.
- [6] Tribin Rivera, Juan P. Almanza, Celia F. 2014. Prospectica de la cadena productiva de mango bajo el enfoque dinamico. Entramado 2014; 19: 56-81.
- [7] Estupiñán Garavito, J. D., & Camilo, G. S. J. (2009). Análisis de los aspectos cualitativos que afectan la cadena de abastecimiento agroindustrial de la palma de aceite. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- [8] Teimoury, E., Nedaei, H., Ansari, S., & Sabbaghi, M. (2013). A multiobjective analysis for import quota policy making in a perishable fruit and vegetable supply chain: A system dynamics approach. Computers and Electronics in Agriculture, 93, 37–45. doi:10.1016/j.compag.2013.01.010
- [9] Hernández García, S., & Sanchez Jimenez, J. (s.f.). Marco conceptual de la cadena de suministros: Un nuevo enfoque logístico. [10] Peña O, D. L., Ramirez R, G. S., Posada M, D. R., Garcia C. K., Salazar R. A. F., & Chud P. V. L. (2015). Integración logística comercial para el sector productivo de la zona media rural de la ciudad de Buga en el centro del Valle del Cauca: caso de estudio corregimiento de Monterrey.
- [11] Amézquita, J. & Chamorro, K. (2013). Dinámica de sistemas aplicado en el análisis de cadenas productivas agroindustriales en el departamento de Bolívar. Revista S&T, 11(24), 27-37

[12] Mancilla, H. (1999). Simulación: Herramienta para el estudio de sistemas reales. Ingeniería y Desarrollo, 6, 104-112

### AUTORES



**VÍCTOR HUGO HERNÁNDEZ GARCÍA** estudiante de pregrado de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle sede Buga.



**JESÚS HERNÁN ECHEVERRÍA BEDOYA** estudiante de pregrado de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle sede Buga.



**DIEGO LEÓN PEÑA OROZCO**  
Ingeniero Industrial Universidad del Valle, Especialista en Calidad Total y Productividad – Universidad del Valle, Master en Ingeniería énfasis Ingeniería Industrial – Universidad del Valle, Master Business Administration – Tulane University – Universidad Icesi, Profesor Universidad del Valle – Pregrado y Postgrado Escuela de Ingeniería Industrial, Coordinador Programa Académico de Ingeniería Industrial Sede Buga, Director de Proyecto de investigación Integración logística comercial de la zona rural media de la Ciudad de Buga – Vicerrectoría de Investigaciones, Universidad del Valle.

## 75. PLANNING OF CAPACITIES OF A LOGISTIC OPERATOR IN DISTRIBUTION CENTERS

**OLGA ROSANA ROMERO Q<sup>1</sup>, MAURICIO BECERRA F.<sup>2</sup>, ELSA CRISTINA GONZÁLEZ<sup>3</sup>, FEIZAR JAVIER RUEDA V.<sup>4</sup>**

<sup>2</sup> y <sup>3</sup> Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia. Diag. 47 N° 15- 50. Bogotá Colombia (571) 3-277300

<sup>1</sup> y <sup>4</sup> Suppla Logística Inteligente. Cl. 26 No. 92-32 Edificio G5 Piso 2. Bogotá Colombia (571) 5-550000

<sup>1</sup>olga.romero@suppla.com, <sup>2</sup>mbecerra@ucatolica.edu.co, <sup>3</sup>ecgonzalez@ucatolica.edu.co, <sup>4</sup>feizar\_rueda@udistrital.edu.co

### ABSTRACT

This article presents the results of the simulation of a horizontal collaborative strategy in distribution centers using dynamic systems, whose central actor is the logistics services provider as Integrator of the different needs of its customers and the market, which through aggregate demand of their users planning, develop a competitive advantage with benefits for all stakeholders involved in the logistics network, by increasing efficiency in the use of resources, due to the planning of collaborative capabilities.

**KEYWORDS:** Horizontal collaborative logistics, capabilities, distribution center, aggregate planning.

### I. INTRODUCCIÓN

El Gobierno Nacional ha definido la logística como uno de los factores fundamentales para alcanzar la meta propuesta por Colombia de ser uno de los tres países más competitivos de Latinoamérica en el año 2032 [1]. Esta meta fue definida en el marco del Sistema Nacional de Competitividad e Innovación, basado en alcanzar una economía exportadora de bienes y servicios de alto valor agregado e innovación.

A pesar de lo anterior, de acuerdo con el Foro Económico Mundial y el Reporte Global de Competitividad (2014-2015) [2], Colombia ocupa el puesto 66 a nivel mundial, superado en Latinoamérica por Chile (33), Panamá (48), Costa Rica (51), Brasil (57), México (61) y Perú (65), evidenciando que unos de los factores más atrasados es la inadecuada infraestructura y redes logísticas. Así mismo, el índice de desempeño logístico realizado por el Banco Mundial [3], posiciona a Colombia en el puesto 97 de 160 países evaluados, mostrando las deficiencias en la competencia logística, reflejada en el comportamiento de los costos logísticos, donde Colombia alcanza un 18% [4], superando todas las regiones, incluso el promedio general de Latinoamérica.

Tabla N°1. Comparativo costos logísticos

Costos Logísticos	
Todas las regiones	12%
Norte América	11%
Europa	11%
Asia Pacífico	11%
Latinoamérica	14%
Colombia	18%

En invierno los costos logísticos en Colombia pueden llegar hasta el 22%

Fuente: 16th Estudio de 3PL, Georgia Tech, 2012 [4]

De acuerdo con Guash [5], la distribución de los costos logísticos de América Latina y el Caribe se concentra en procesos de almacenamiento y gestión de inventarios (38%), convirtiendo los centros de distribución en nodos estratégicos para incentivar estrategias hacia una logística más eficiente.

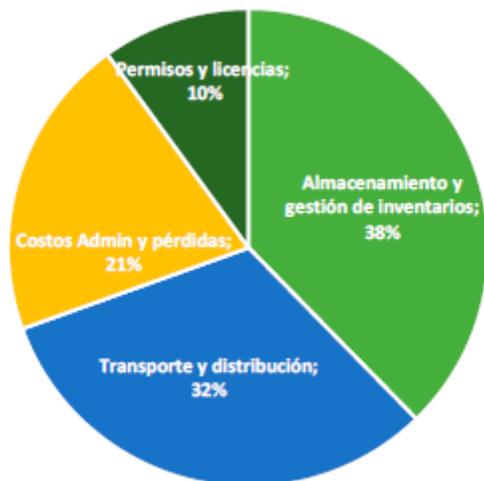


Figura No. 1. Estructura media de costos logísticos  
Fuente: Guash [5], Banco Interamericano de Desarrollo

Adicionalmente, tras evaluar la aplicación de procesos colaborativos en centros de distribución, principalmente en operadores logístico, se evidencia como los generadores de carga, siguen acotando los requerimientos a su propia necesidad, bajo modelos de exclusividad, siendo esta una práctica común en el momento de tercerizar la operación logística de almacenamiento y gestión de inventarios. [6]

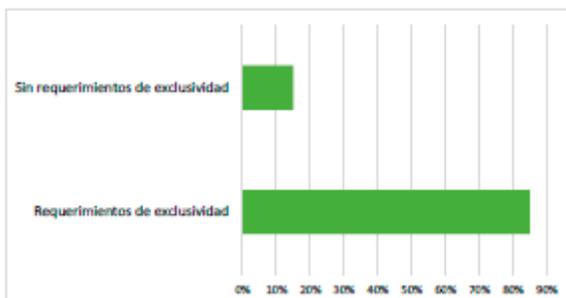


Figura No. 2. Requerimientos de exclusividad en operaciones en centros de distribución

Fuente: Suppla S.A. Informe de exclusividad de operaciones en centros de distribución. [6]

Lo anterior revela la necesidad de desarrollar estrategias que permitan incrementar la productividad y competitividad hacia una logística más eficiente, siendo responsabilidad del operador logístico, ofrecer una solución capaz de integrar las diversas necesidades de compañías que tienen la capacidad de aglomerarse y generar procesos colaborativos estrechos para mejorar sus resultados, de allí la importancia de la aplicación del estudio de capacidades para centros de distribución colaborativos, específicamente para operadores logísticos en el contexto colombiano, teniendo en cuenta la complejidad en la gestión de cadenas de

abastecimiento, la asignación de capacidades ante fluctuaciones de la demanda, la incertidumbre en la disponibilidad de recursos y la obtención de resultados financieros satisfactorios para todas las partes interesadas, siendo necesario abordar el problema desde una perspectiva dinámica.

De acuerdo con la revisión del estado del arte, es posible observar que la logística colaborativa se ha abordado como la integración vertical de los diferentes eslabones de la cadena de suministro, desarrollando estrategias como la planeación de la demanda o las sinergias a lo largo de la red logística, más no con una perspectiva colaborativa entre compañías de un mismo sector que pueden hacer sinergia gracias a la similitud de sus características y la homogeneidad de mercados objetivos, integrados a través de un actor fundamental como lo es el operador logístico, especialista en la generación de eficiencias, con una amplia oportunidad ante la planeación colaborativa de capacidades, resultante de la integración sectorial, lo cual puede impactar su eficiencia vista como un mejor resultado financiero y del crecimiento del negocio, reflejo de la motivación generada en el mercado y cuyos beneficios pueden ser compartidos a sus clientes, en función de la calidad de los procesos y costos logísticos competitivos.

## II. HIPÓTESIS DINÁMICA

Con el desarrollo del modelo de logística colaborativa en centros de distribución, se busca contrastar la hipótesis dinámica, la cual considera que un operador logístico al planear los recursos de manera colaborativa a partir de la demanda agregada de sus clientes en centros de distribución, se mejoran las medidas de desempeño logístico, a nivel de crecimiento de la demanda y de la utilización de los recursos

## III. METODOLOGÍA

La metodología implementada, parte de la formulación del problema de investigación, de manera que se pueda establecer la hipótesis objeto de estudio y posteriormente el diseño del modelo que represente de manera adecuada el sistema, identificando los elementos necesarios para su operacionalización y posterior medición.

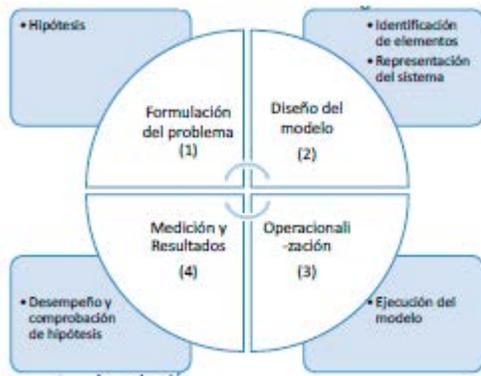


Figura No. 3. Metodología  
Fuente: Esta investigación

El modelo desarrollado en esta investigación se realizó empleando el software de simulación iThink, soportado por otros softwares tales como SPSS, Microsoft Excel y StatFit, a partir de la información suministrada por un operador logístico colombiano representativo en el mercado.

IV. DIAGRAMA CAUSAL

Las relaciones entre los componentes del modelo se pueden observar mediante el diagrama causal, el cual representa la relación del comportamiento de la demanda asociado a la capacidad y su efecto sobre el comportamiento financiero, tal y como se muestra en la figura siguiente:

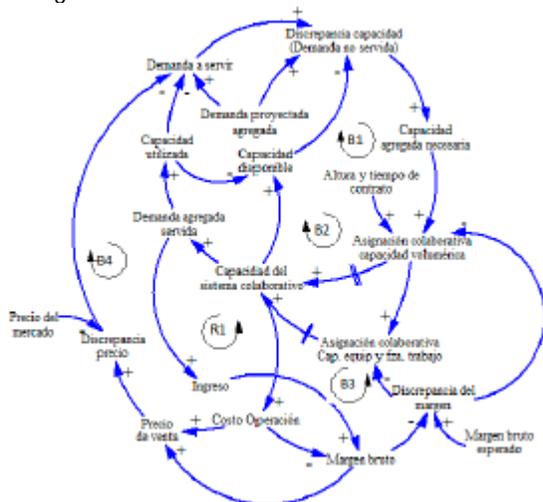


Figura No. 4. Diagrama causal del modelo  
Fuente: Esta investigación.

El comportamiento dinámico del sistema y sus efectos, se analiza a través de los bucles de realimentación como se expone a continuación:

**a. Efecto sobre la demanda y capacidad del sistema:** La demanda de posiciones logísticas del almacén se

afecta por la capacidad del sistema colaborativo, determinado por la asignación de los recursos, espacio, fuerza de trabajo y equipos de movilización, que al partir de una planeación agregada de la demanda, permite un mayor aprovechamiento de los recursos. El flujo de realimentación de la demanda se evidencia en el bucle B1 de balance, actuando como una búsqueda de objetivo para atender la demanda proyectada y el bucle B2 de balance busca la estabilización en el uso de los recursos disponibles, generando un efecto de oscilación por la demora en la asignación de recursos.

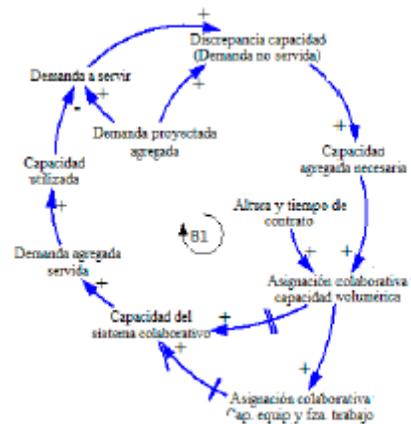


Figura No. 5. Figura No. 40. Bucle de realimentación de la demanda y capacidad del sistema.  
Fuente: Esta investigación

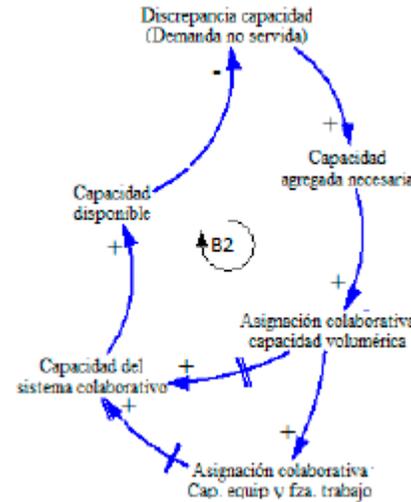


Figura No. 6. Figura No. 41. Bucle de realimentación de aprovechamiento de la capacidad  
Fuente: Esta investigación

**b. Efecto financiero:** La demanda servida agregada y la capacidad asignada para atenderla, genera efecto a nivel de costo, precio e ingreso total percibido, resultando el margen bruto de la operación logística. Los

efectos se ven reflejados en los bucles que se describen a continuación:

- **Costo:** La capacidad colaborativa del sistema depende de la disponibilidad de recursos monetarios, es decir incide sobre la asignación de recursos por el cumplimiento de políticas de rentabilidad de la operación. Esta asignación de recursos, genera costos operativos que a su vez afectan el margen bruto. El flujo de realimentación se evidencia en el bucle B3 de balance, buscando la estabilización del costo logístico, con efecto de oscilación.

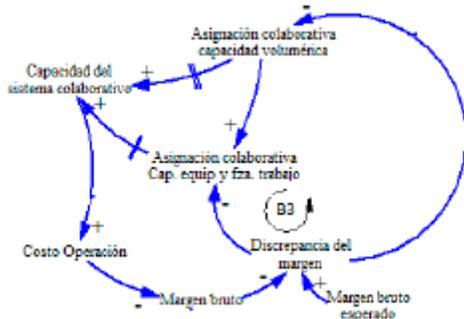


Figura No. 7. Figura No. 42. Bucle de realimentación del costo  
Fuente: Esta investigación

- **Precio:** El resultado del ejercicio logístico, genera un precio por posición de almacenamiento en el centro de distribución, que al ser contrastado con el precio del mercado, calcula una discrepancia que incentiva positiva o negativamente la demanda a servir, afectando los costos por la asignación de los recursos y el ingreso obtenido, incidiendo sobre el margen bruto. El flujo de realimentación se evidencia en el bucle B4 de balance, buscando la estabilización del precio logístico y con efecto de oscilación.

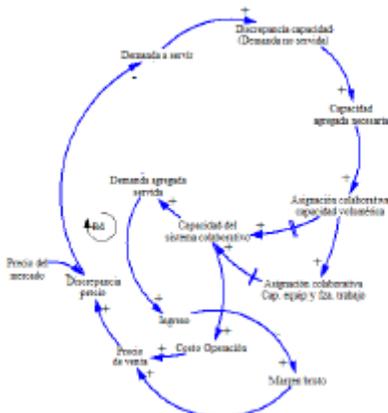


Figura No. 8. Figura No. 43. Bucle de realimentación del precio  
Fuente: Esta investigación

- **Ingreso:** La demanda agregada servida, permite obtener un ingreso por efecto de la venta ejecutada, lo cual incide sobre el margen bruto obtenido que al

cumplir las políticas de margen esperado, activa la asignación de los recursos necesarios para la atención de la demanda. El flujo de realimentación positivo se evidencia en el bucle R1, buscando el crecimiento pero con efecto de oscilación por la demora en la asignación de capacidad.

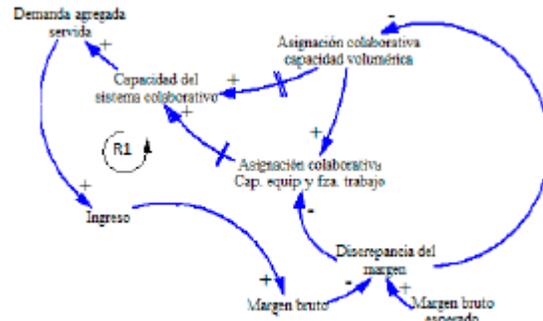


Figura No. 9. Figura No. 44. Bucle de realimentación del ingreso  
Fuente: Esta investigación

## V. CÁLCULO DE CAPACIDADES

El modelo se centra en el análisis del comportamiento de las capacidades para la atención de servicios logísticos en centros de distribución, de manera que se determine el crecimiento necesario, siguiendo las políticas financieras y técnicas:

- **Demanda agregada de posiciones logísticas ( $D_{ilk}$ ):** definida como la cantidad de posiciones logísticas proyectadas en el mes  $i$  de acuerdo con la altura  $l$  y el tiempo de contrato de arrendamiento  $k$
- **Capacidad necesaria de posiciones ( $Cn_{ilk}$ ):** definida como la cantidad de posiciones logísticas requeridas en función de la discrepancia de la demanda a servir y la capacidad existente en el sistema en el mes  $i$  de acuerdo con la altura  $l$  y el tiempo de contrato de arrendamiento  $k$
- **Capacidad instalada de posiciones ( $CI_{ilk}$ ):** definida como el número posiciones logísticas totales utilizables en el espacio disponible en el mes  $i$  de acuerdo con la altura  $l$  y el tiempo de contrato de arrendamiento  $k$
- **Capacidad utilizada de posiciones ( $CU_{ilk}$ ):** número posiciones logísticas totales utilizadas de acuerdo con la demanda a atender y la capacidad del sistema en el mes  $i$  de acuerdo con la altura  $l$  y el tiempo de contrato de arrendamiento  $k$
- **Capacidad necesaria de equipos ( $CE_{ilk}$ ):** definida como la cantidad de equipos de movilización en el mes  $i$  de acuerdo con la altura  $l$  y el tiempo de contrato de arrendamiento  $k$

- **Capacidad instalada por equipos de movilización (CIE<sub>ilk</sub>):** definida como la cantidad de posiciones a atender de acuerdo con los equipos de movilización asignados en el mes *i* de acuerdo con la altura *l* y el tiempo de contrato de arrendamiento *k*
- **Capacidad utilizada de equipos (CUE<sub>ilk</sub>):** posiciones utilizadas equivalentes a los equipos asignados de acuerdo con la demanda a atender y la capacidad del sistema en el mes *i* de acuerdo con la altura *l* y el tiempo de contrato de arrendamiento *k*
- **Capacidad necesaria de fuerza de trabajo (CF<sub>ilk</sub>):** definida como la fuerza de trabajo necesaria requeridos en el mes *i* de acuerdo con la altura *l* y el tiempo de contrato de arrendamiento *k*
- **Capacidad instalada por la fuerza de trabajo (CIF<sub>ilk</sub>):** definida como la cantidad de posiciones a atender de acuerdo con la fuerza de trabajo disponible *k* en el mes *l*
- **Capacidad utilizada de equipos (CUF<sub>ilk</sub>):** posiciones utilizadas equivalentes a la fuerza de trabajo asignada de acuerdo con la demanda a atender y la capacidad del sistema en el mes *i* de acuerdo con la altura *l* y el tiempo de contrato de arrendamiento *k*
- **Capacidad del sistema (CS<sub>ilk</sub>):** número posiciones logísticas que es posible atender e en el mes *i* de acuerdo con la altura *l* y el tiempo de contrato de arrendamiento *k*  

$$CS_{ilk} = \text{Min} \{ CdE_{ilk} ; CdF_{ilk} ; CI_{ilk} \}$$
- **Discrepancia de capacidad (DS<sub>ilk</sub>):** definida como la diferencia entre la capacidad del sistema (CS<sub>ilk</sub>) y la demanda mensual proyectada y la Demanda agregada de posiciones logísticas (D<sub>ilk</sub>)
- **Discrepancia del margen (DSF<sub>i</sub>):** definida como la diferencia entre el margen alcanzado y el margen esperado en el mes *i*
- **Discrepancia del precio (DSP):** definida como la diferencia entre el precio por posición logística ofrecida y el precio por posición logística del mercado
- **Capacidad ociosa (CO<sub>ilk</sub>):** definida como la diferencia de la capacidad instalada menos la utilizada,  

$$CO_{ilk} = CI_{ilk} - CU_{ilk}$$
- **Asignación de capacidad:** la asignación de capacidad tanto de espacio volumétrico, equipos y fuerza de trabajo está sujeto a la discrepancia del margen deseado contra el logrado.
- **Asignación de capacidad volumétrica:** se debe cumplir con una discrepancia máxima permitida del margen esperado y una necesidad constante

durante los últimos 6 meses de mayor o igual a 3500 m<sup>2</sup> para almacenes de 8 y 12 metros de altura y de 2500 m<sup>2</sup> para almacenes de 16 metros de altura  
**Almacenes de 8 y 12 metros de altura:**  
 $DSF_{ilk} < 0,5 \wedge \sum_{i=1}^6 DS_{ilk} \geq 3500$   
**Almacenes de 18 metros de altura:**  
 $DSF_{ilk} < 0,5 \wedge \sum_{i=1}^6 DS_{ilk} \geq 2500$

- **Asignación de capacidad en equipos y fuerza de trabajo:** se debe cumplir con una discrepancia máxima permitida del margen esperado  
 $DSF_{ilk} < 0,5$

## VI. MODELO

### DEFINICIÓN DE SECTORES

El servicio logístico de almacenamiento en centro de distribución requiere de diversos componentes los cuales se estructuran para dar origen a la prestación o producción del servicio y que son representados a través de los sectores que caracterizan el sistema:

- Demanda y capacidad volumétrica del sistema:** generador de la demanda a atender y la capacidad almacenamiento en posiciones logísticas.
- Equipos de movilización:** recurso cuya asignación hace parte de la capacidad total del sistema.
- Fuerza de trabajo (colaboradores):** recurso cuya asignación hace parte de la capacidad total del sistema.
- Desempeño financiero:** asociado al comportamiento de los costos por la asignación de los recursos, ingresos y precio ofertado al mercado, que determina la viabilidad y continuidad del negocio.



Figura No. 10. Diagrama de Forrester  
 Fuente: Esta investigación

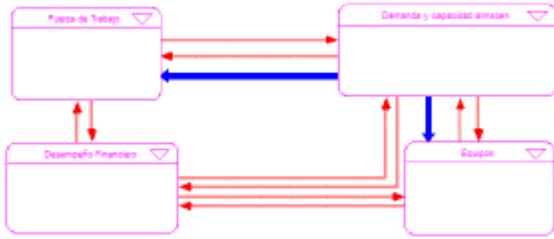


Figura No. 11. Sectores del modelo  
Fuente: Esta investigación

VII. RESULTADOS

Tras el modelamiento del sistema, se obtuvieron los siguientes resultados al contrastar la estrategia colaborativa versus la no colaborativa:

- Estrategia 1: modelo no colaborativo, basado en el desempeño de la planeación de capacidades de manera independiente por cada cliente
- Estrategia 2: modelo colaborativo, basado en el desempeño de la planeación de recursos, a través de la planeación agregada de la demanda

Tabla N°2. Estrategias del contraste entre el modelo colaborativo y no colaborativo

Estrategia	Modelo	Altura del almacén	Tiempo de contrato
Estrategia 1	Colaborativo	12	120
Estrategia 2	No colaborativo	12	120

Fuente: Esta investigación

a) Comportamiento de la demanda

La demanda esperada es el resultado de la afectación de las proyecciones por el comportamiento del sistema.

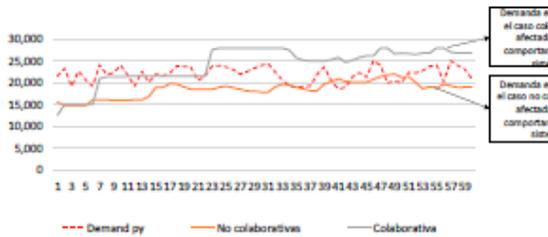


Figura No. 12. Contraste de la demanda estimada: colaborativo y no colaborativo

Fuente: Esta investigación

La demanda en el caso colaborativo se ve incrementada con respecto a la proyección inicial, contrario al comportamiento de la demanda esperada en el caso no colaborativo.

b) Utilización de los recursos

La tasa de utilización de los recursos repercute en el costo del servicio y por ende en resultado financiero

obtenido, es decir determinar la eficiencia operativa para incentivar el crecimiento del negocio.



Figura No. 13. Utilización de los recursos  
Fuente: Esta investigación

Tras analizar las dos estrategias y el comportamiento en la utilización de los recursos en el sistema, se obtiene para el caso colaborativo una tasa de utilización media de 90,5% frente a un 84.5% en la estrategia no colaborativa mostrando la sinergia que se desarrolla al realizar una planeación colaborativa de las capacidades ante una demanda fluctuante.

COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Cuadro 1. Contraste de hipótesis: modelo de planeación (colaborativo y no colaborativo) y afectación sobre la demanda servida

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_0</math> = El modelo de planeación (colaborativo o no colaborativo) no influye sobre la demanda atendida.</li> <li>• <math>H_1</math> = El modelo de planeación (colaborativo o no colaborativo) si influye sobre la demanda atendida.</li> <li>• Con un nivel de significancia <math>\alpha</math> de 0.05 <math>F \sim F_{0,05;2,116} = 3,07 &lt; F_c = 3294</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Decisión:</b> Rechazar la hipótesis nula.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Conclusiones:</b> No hay evidencia suficiente para afirmar que el modelo utilizado para la planeación de los recursos (bien sea colaborativo o no colaborativo) no influye en la demanda servida resultante por la operación logística en el centro de distribución</li> </ul>

Fuente: Esta investigación

Cuadro 2. Contraste de hipótesis: modelo de planeación (colaborativo y no colaborativo) y afectación la utilización de los recursos

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_0</math> = El modelo de planeación (colaborativo o no colaborativo) no influye sobre la utilización de los recursos.</li> <li>• <math>H_1</math> = El modelo de planeación (colaborativo o no colaborativo) si influye sobre la utilización de los recursos.</li> <li>• Con un nivel de significancia <math>\alpha</math> de 0.05 <math>F \sim F_{0,05;2,116} = 3,07 &lt; F_c = 9091</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Decisión:</b> Rechazar la hipótesis nula.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Conclusiones:</b> No hay evidencia suficiente para afirmar que el modelo utilizado para la planeación de los recursos (bien sea colaborativo o no colaborativo) no influye sobre la utilización de los recursos.</li> </ul>

Fuente: Esta investigación

## VIII. CONCLUSIONES

Mediante el análisis del sector logístico tanto en el contexto nacional e internacional, se resalta su importancia, ante una alta correlación (0.9) entre la competitividad y el desempeño logístico de las naciones, según datos obtenidos del Foro Económico Mundial y el Banco Mundial, siendo fundamental desarrollar estrategias que permitan elevar los índices de competitividad, a través de procesos más eficientes en las redes logísticas y que beneficien a los diferentes actores de la cadena.

Es allí, donde las alianzas y los procesos de cooperación, toman mayor importancia, por el efecto de los beneficios potenciales al generar sinergias entre ellos, que para este caso de estudio se denota en los centros de distribución como infraestructuras de generación de valor para clientes y consumidores.

A pesar de lo anterior, generar los procesos de colaboración, es una tarea ardua que requiere, cumplir con varias condiciones para la sincronización y coordinación simultanea de requerimientos, como son, entre otras, características de los productos, mercados objetivos, información, intención real de cooperación entre compañías, pero sobre todo un actor central con la habilidad integradora para gestionar las diversas necesidades de las cadenas de abastecimiento, como lo es el operador logístico.

Al abordar esta situación desde la perspectiva de la dinámica de sistemas, es posible analizar los vínculos causales entre los elementos del sistema y su realimentación, identificando el efecto de situaciones típicas en los sistemas reales, pero no siempre consideradas en la toma de decisiones, como las demoras en la asignación de recursos o el incumplimiento de políticas corporativas, que afectan el desempeño del negocio.

En esta investigación, a través del desarrollo y uso del modelo de dinámica de sistemas, es posible planear las capacidades en centros de distribución, considerando la variabilidad de la demanda de un operador logístico, ante un sistema que depende de condiciones del entorno, como la disponibilidad de recursos, los precios del mercado o el desarrollo de las infraestructuras de centros de distribución con diferentes alturas y tiempos de contrato, entre otros elementos, que al ser modelados bajo estrategias de planeación de recursos de manera colaborativa y no colaborativa, facilita la

toma de decisiones, ante las medidas de desempeño resultantes de la simulación y que procuran incrementar la competitividad de las redes logísticas, condicionando su crecimiento y facilitando la evaluación de estrategias, para alcanzar los objetivos de las partes interesadas.

## REFERENCIAS

- [1] Departamento Nacional de Planeación, «Conpes 3439: Sistema Nacional de Competitividad,» 2006.
- [2] World Economic Forum, «The Global Competitiveness Report 2014-2015,» World Economic Forum, 2014.
- [3] B. Mundial, «[http://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ?page=2,](http://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ?page=2)» Banco Mundial. [En línea]. Available: <http://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ?page=2>. [Último acceso: Agosto 2014].
- [4] Georgia Tech, «16th Estudio de 3PL,» 2012.
- [5] J. L. Guasch, «Banco Interamericano de Desarrollo,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.iadb.org/wmsfiles/products/publications/documents/36610117.pdf>. [Último acceso: Diciembre 2014].
- [6] Suppla S.A., «Exclusividad en operaciones de centros de distribución,» Bogotá, 2014.
- [7] M. Senkel, B. Durand y T. L. Hoa, «La Mutualisation logistique: entre théories et pratiques,» *Logistique and Management*, vol. 21, n° 1, pp. 19-30, 2013.
- [8] Logyca, «Gestión de la demanda,» Bogotá, 2011.
- [9] P. M. Senge y O. Rogelio, «Developing a Theory of Service Quality/Service Capacity Interaction,» de *The 11th International Conference of the System Dynamics Society*, Cancun, 1993.
- [10] A. J. Edward G, «Managing Software Implementers in the Information Services Industry: An Example of the Impact of Market Growth on Knowledge Worker Productivity and Quality,» de *The 16th International Conference of the System Dynamics Society*, Québec City, 1998.
- [11] E. G. Anderson, D. Morrice y G. Lundeen, «The physics of capacity and backlog management in service and custom manufacturing supply chains,» *System Dynamics Review*, vol. 21, n° 3, p. 217-247, 2005.
- [12] M. Becerra Fernández, O. R. Romero Quiroga, M. M. Herrera Ramírez y J. Trujillo Díaz, «Modelamiento de la demanda de servicios logísticos de almacenamiento a través de dinámica de sistemas,» de *IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas y II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas*, Brasilia, 2011.
- [13] N. C. Georgantzias, «Perceptual Dynamics of "good" and "poor" service quality,» de *The 11th International*

Conference of the System Dynamics Society, Cancun, 1993.

[14] J. Homer, «Macro- and Micro-Modeling of Field Service Dynamics,» de The 16th International Conference of the System Dynamics Society, Québec City, 1998.

[15] J. Barnes, F. Burton, I. Hawker y M. H. Lyons, «Scenario Modelling of Demand for Future Telecommunication Services,» de The 12th International Conference of the System Dynamics Society, Stirling, 1994.

[16] T. Lynch, S. Skelton y M. H. Lyons, «Strategic Analysis of Global Telecoms Services Provision,» de The 12th International Conference of the System Dynamics Society, Stirling, 1994.

[17] A. Barrón, S. Martínez y J. M. López, «A simulation model for telecommunications services partially substituting,» de The 14th International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, 1996.

[18] M. Mojtahedzadeh y D. Andersen, «Assesing the system-wide impacts of automated voice customer service technologies,» de The 14th International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, 1996.

[19] A. Matthews y J. Osborne, «Development Of A Management Flight Simulator To Enable The Strategic Planning And Targeting Of telecommunications networks resources and services to the most profitable customers,» de The 17th International Conference of the System Dynamics Society, Wellington, 1999.

[20] C. J. Rowland, «The role of Change Agents in an IT services corporation: A systems approach to developing a strategy for improvement,» de The 17th International Conference of the System Dynamics Society, Wellington, 1999.

[21] J. Osborne, «Dynamic Modelling to assist in the understanding of consumer Take-up and the Diffusion of new Telecommunications Services,» de The 17th International Conference of the System Dynamics Society, Wellington, 1999.

[22] F. Jackson, «"Systems thinking for the next millennium: The future of the IT services industry",» de The 17th International Conference of the System Dynamics Society, Wellington, 1999.

[23] X. Honggang, A. Mashayekhi y K. Saeed, «Effectiveness of infrastructure service delivery through earmarking: the case of highway construction in China,» System Dynamics Review, vol. 14, n° 2-3, pp. 221-255, 1998.

[24] M. Kunc, «Achieving a balanced organizational structure in professional services firms: some lessons

from a modeling project,» System Dynamics Review, vol. 24, n° 2, p. 119-143, 2008.

[25] J. Barton, «The Management of Urban Water Services- A study in Long-Term Institutional Dynamics,» de The 12th International Conference of the System Dynamics Society, Stirling, 1994.

[26] T. Morgan y B. Ammentorp, «Human Service Systems: A Theoretical Perspective,» de The 13th International Conference of the System Dynamics Society, Tokyo, 1995.

[27] E. F. Wolstenholme, «A patient flow perspective of U.K. health services: exploring the case for new "intermediate care" initiatives,» System Dynamics Review, vol. 15, n° 3, pp. 253-271, 1999.

[28] A. Ackere y P. Smith, «Towards a macro model of National Health service waiting lists,» System Dynamics Review, vol. 15, n° 3, pp. 225-252, 1999.

[29] B. N. Calvo, «Is the contraction of demand an excuse for the laissez-faire human resource practices at professional service companies?,» System Dynamics Review, vol. 27, n° 3, p. 294-312, 2011.

[30] M. Becerra y J. Orjuela, Modelo para el cálculo de capacidades operativas en empresas prestadoras de servicios empleando dinámica de sistemas, Bogotá, 2012.

## 76. SELECCIÓN DE PROYECTOS UTILIZANDO EL CONOCIMIENTO: UN CASO DE ESTUDIO EN VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

**JOSE CINTRON, LUIS RABELO, ALFONSO SARMIENTO, EDGAR GUTIERREZ FRANCO, ROBERT PROVINÉ**

Department of Industrial Engineering and Management Systems  
University of Central Florida, Orlando, Florida 32816-2993, USA

<sup>2</sup>. University of La Sabana, Chia, Cundinamarca, Colombia  
Department of Industrial Engineering

### RESUMEN

Los activos intangibles son muy importantes en casos tales como la selección de proyectos que no se pueden gestionar adecuadamente sin tener en cuenta el conocimiento. Hemos desarrollado un marco conceptual para medir el valor que añaden los procesos basados en el conocimiento. Una modificación a la casa de la calidad ("House of Quality") se utiliza para examinar los estados actuales y futuros para proponer sistemas alternativos.

La dinámica de sistemas se utiliza para modelar el sistema del futuro y obtener las diferentes mediciones. La Complejidad de Kolmogorov se utiliza para relacionar la cantidad de conocimiento necesario para ejecutar con éxito los cambios propuestos. Los criterios para la selección de los proyectos se basan en la "cantidad" de conocimiento medido para generar el cambio. Un caso de estudio se presenta con el fin de ilustrar el enfoque y su potencial.

**PALABRAS CLAVE:** Complejidad de Kolmogorov, Retorno de Conocimiento, Dinámica de Sistemas, Análisis de valores propios.

### I. INTRODUCCIÓN

Las corporaciones han medido tradicionalmente el éxito en términos de activos tangibles. En las empresas altamente basadas en tecnología e información, el valor generado por procesos de la empresa no se puede medir con la contabilidad de costos.

Las inversiones pueden producir valor a través de la mejora o creación de procesos de negocios (para aumentar la eficiencia) y mediante la mejora de las decisiones de gestión de la toma de decisiones. Por lo tanto, las empresas pueden obtener valor de los procesos basados en el conocimiento, pero pueden no ser capaces de medir la totalidad o una parte de ese valor. Modelos económicos y contables ("capital budgeting") pueden medir el valor de las inversiones basándose en mediciones de efectivo. Mientras que a los beneficios tangibles se les pueden asignar valores monetarios, beneficios intangibles que proporcionan valor no se pueden medir en estos modelos financieros. Una cuestión importante es en dónde y cómo se puede

medir y reportar el valor del conocimiento (Guthrie 2001) con modelos de contabilidad o mediciones totalmente separadas. Otro problema es la dificultad de cuantificar intangibles. El conocimiento de los empleados, los requisitos de capacitación y las curvas de aprendizaje son algunos ejemplos de intangibles muy importantes que un administrador puede utilizar para una mejor toma de decisiones. El uso del conocimiento es necesario en cualquier proceso de negocio y el valor del conocimiento aplicado a los procesos puede ser utilizado como un valor añadido a la empresa. Por lo tanto, ya que los métodos tradicionales sirven para medir el rendimiento de las inversiones o el valor añadido ya no son aplicables a los modelos de negocio basados en el conocimiento, el valor obtenido mediante la ejecución de estos procesos se mide mejor por que representa el valor del conocimiento en lugar de solo valores monetarios (Pavlou et al. 2,005)

### II. ANTECEDENTES

En los negocios actuales y en el desarrollo de productos, los gerentes se deciden por metodologías y

procesos para mejorar las tareas. A modo de ejemplo, en los sistemas de información (SI) los gerentes generalmente se basan en enfoques como el análisis financiero y de contabilidad de costos para los procesos de planificación y control. Análisis financieros y contables durante mucho tiempo han sido considerados como base para tomar decisiones orientadas a generar un mayor rendimiento. Pero el análisis financiero puede no proporcionar medidas para todo el valor que cada activo o individuo provee a los procesos y a su vez a una organización en conjunto. Algunos métodos identifican el conocimiento como adiciones después que se ha contabilizado el capital tangible mientras que otros utilizan medios y supuestos subjetivos. En el caso de procesos de conocimiento, cuánto cambio se lleva a cabo en los insumos mediante el uso de conocimiento puede ser considerado como el aspecto más importante en la ejecución de estos procesos. Además la cantidad de cambio a una entrada por el uso del conocimiento se puede medir por la cantidad de conocimiento que se utiliza para hacer el cambio. Esta última afirmación se basa tanto en la entropía termodinámica y la Complejidad de Kolmogorov, y se puede resumir de la siguiente manera: la energía o la complejidad requerida para generar o describir una salida de proceso es una medida de cambio. La medición del valor añadido de los procesos de conocimiento se puede lograr usando la complejidad como la base para el valor en la ejecución de los procesos que convierten los insumos en productos. A diferencia de la medición del valor de las ganancias de costo y efectivo tangibles, la valoración del conocimiento sobre la base de principios de complejidad de Kolmogorov se puede utilizar para calcular el retorno de las inversiones.

Esta investigación propone que teniendo en cuenta las interacciones de procesos y complementos, así como el comportamiento dinámico de los sistemas proporciona una mejora significativa en la toma de decisiones que se basa en el valor agregado del conocimiento. A diferencia de estudios anteriores, la investigación presenta un enfoque estructurado para el análisis y la medición del valor basado en la complejidad del proceso, junto con las interacciones de procesos y comportamiento dinámico (Rabelo et al.2007). Trabajos anteriores han demostrado el atractivo de medir el conocimiento como una forma de mejorar la productividad, pero los procesos basados en el conocimiento también pueden interactuar en las estructuras del sistema dinámico.

La gestión del cambio, basado en la importancia de las interconexiones y considerando la optimización del

sistema requiere de procesos coherentes, lo cual se puede lograr utilizando la Matriz del Cambio (MOC).

El MOC es una herramienta para la reingeniería de procesos de negocio (BPR) adoptado de la "casa de la calidad". La herramienta MOC ayuda en "cuestiones de comprensión de viabilidad (estabilidad de los nuevos cambios), secuencia (que practica cambiar primero), ubicación (zonas no urbanizadas o industriales abandonadas), ritmo (rápido o lento), y los intereses de las partes interesadas (fuentes de valor añadido)." (Brynjolfsson, Renshaw y Alsteyne, 1997).

La gestión eficaz del cambio también requiere el reconocimiento del papel fundamental de las interacciones que "pueden hacer que sea imposible de implementar con éxito un nuevo sistema, complejo en forma descentralizada. En cambio, los gerentes deben planificar una estrategia que tenga en cuenta y coordine las interacciones entre todos los componentes de un sistema de negocio."  
"(Brynjolfsson 1997).

El análisis MOC se lleva a cabo en cuatro etapas: tres matrices (prácticas actuales, prácticas deseadas y análisis de transición con lo actual y el deseado juntos) y evaluaciones de las partes interesadas para identificar la importancia de los procesos para las actividades de los grupos de interés. El primero de los cuatro pasos MOC es identificar los procesos y prácticas que se desglosan en "partes constituyentes" o los procesos se espera cumplan o mejorar las prácticas u objetivos críticos. El segundo paso clasifica las interacciones del sistema de matrices que identifican los procesos como los que aumentan la rentabilidad de los procesos que se complementan (de refuerzo) o los que disminuyen el rendimiento de los procesos que compite contra (competencia). La figura 1 demuestra un MOC, pasos uno y dos izquierda) y tres y cuatro (a la derecha).

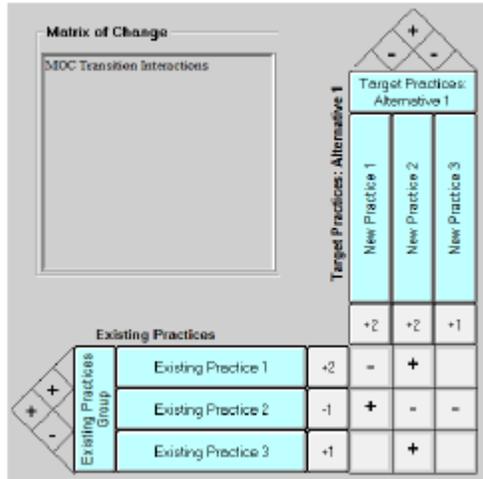


Figure 1: Interacciones del sistema

La metodología para lograr esto se llama Dinámica de Sistemas (SD). El enfoque SD es único en su estudio de la dinámica de retroalimentación y acciones y flujo para mostrar lo que podría ser la no linealidad severa en los sistemas que pueden aparecer simples (Sterman 2000). Una aplicación principal de la SD para la comprensión de la dinámica de sistemas complejos ha sido el análisis de políticas de gestión y el cambio, entre muchos otros. Un supuesto importante para su aplicación es que en los sistemas investigados, en este marco, se componen de los procesos de conocimiento que se mueven como entradas entre ellos para generar salidas. SD puede estudiar el comportamiento de estos sistemas complejos para sus procesos no lineales. El modo de pensar de esta comprensión de sistemas complejos requiere la inclusión de factores tales como evaluaciones, los flujos y acumulaciones en los procesos y estos factores son el corazón del enfoque de modelado SD.

Esta investigación analiza el comportamiento de los procesos propuestos que funcionan como un sistema completamente nuevo. Con un sistema propuesto compuesto de procesos generados a partir de las primeras dos fases principales del marco, esta última fase será modelar el sistema de comportamiento en el tiempo para entender problemas complejos y problemas que se derivan de comportamientos dinámicos.

### III. DESCRIPCIÓN Y METODOLOGIA

El objetivo de la investigación es la combinación de metodologías en un marco ordenado, que analiza el valor añadido basado en la decisión sobre la modificación de procesos o la selección de procesos alternativos con la suposición de que los procesos son

basados en el conocimiento y su complejidad determina la cantidad de valor que agregan como es derivado por la Complejidad de Kolmogorov (Housel y Kanevsky 1995). Con el valor de los procesos se define que ha partir del conocimiento que se necesita para producir los resultados previstos, los indicadores de valor del conocimiento se pueden obtener para ambos procesos actuales y propuestos. La decisión sobre el sistema resultante de los procesos es el resultado de un análisis de cómo los procesos funcionan juntos y se complementan entre sí como un sistema. Los objetivos son identificar qué procesos críticos son más que simplemente añadir más valor, la forma en que interactúan (hacen que refuerzan o interfieren en el sistema?), y cómo se sienten los interesados por ellos.

La Figura 2 muestra el marco en términos generales sobre la base de los pasos para llevar a cabo la selección del proceso basado en el valor añadido por el conocimiento.

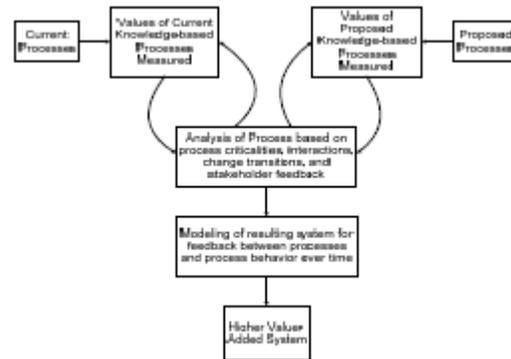


Figure 2: Descripción del marco conceptual.

Hay tres pasos principales del método para evaluar el "valor añadido al sistema". El primer paso es analizar el valor agregado del conocimiento de los procesos actuales y los procesos propuestos. Mientras que los nuevos procesos pueden ofrecer una mayor tasa de retorno del conocimiento, los procesos necesitan interactuar correctamente y se complementan entre sí en un sistema. Por lo tanto independiente de la medición del valor añadido a partir del conocimiento podría no proporcionar una base amplia para las decisiones sobre la sustitución o modificación de procesos. En segundo lugar, el MOC se utiliza para el análisis del proceso basado en interacciones, cambios, transiciones y retroalimentación de las partes interesadas. El resultado de este paso es la matriz de transición del estado actual al estado futuro. En tercer lugar, el modelado de la dinámica de sistemas se utiliza para influir en los insumos, de valor añadido, y la métrica de costos. El resultado esperado es la porción de la metodología

"Knowledge Value added" (KVA) y rendimiento para cada estado. Las salidas del modelo SD ayudarán a analizar el comportamiento y el éxito de los sistemas de conocimiento alternativos con el tiempo, proporcionando métricas KVA. La Figura 3 resume las metodologías utilizadas en cuanto a las tareas que el marco conceptual debe lograr.

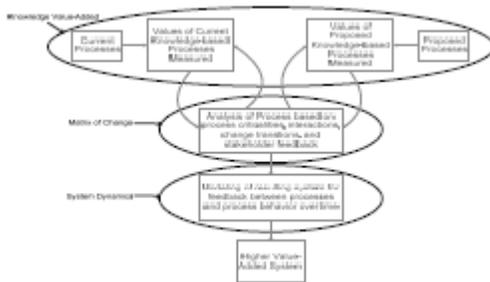


Figura 3: Metodologías para lograr los objetivos del Marco

#### 4. CASO DE ESTUDIO

En un estudio anterior en el Departamento de Defensa (DOD) de Estados Unidos, en programas de adquisición, buscaron mejorar el uso de los beneficios de la metodología Análisis de Alternativas (AOA) (Rabelo et al. 2007) al hacer un modelo de dinámica de sistemas de una operación militar y su integración con KVA con la finalidad de mejorar la precisión de las estimaciones en los procesos de AOA. AOA se hizo difícil debido a la diversidad, en la selección métrica y la medición del desempeño. El objetivo de la investigación era incluir beneficios en AOA en términos de unidades comunes, para permitir una mejor comparación entre las alternativas basadas en el valor, en lugar de limitarse al costo. Los programas de adquisición de armas por lo general conducen AOA para seleccionar soluciones de materiales basados en la viabilidad y los costos. Los conceptos se analizan como parte de un análisis de soluciones de materiales por el cual diversas estimaciones de costos se generan a partir de las comparaciones. El énfasis en los costos en las primeras etapas de la adquisición no debe convertirse en los principales (y menos aún solamente) criterios para la selección de alternativas. Esta práctica provocó una sensación de disparidad entre los costos y beneficios de las operaciones efectivas. El principal problema planteado por la investigación previa era la dificultad de definir indicadores comunes para medir el desempeño con el fin de dar cuenta de los beneficios de las alternativas. Esta medición de los beneficios utilizando KVA se integró con el modelado dinámico de un sistema de armas para los vehículos aéreos no tripulados (UAV)

para tomar decisiones sobre la actualización del sistema. El modelado descubre sinergias entre los procesos del sistema de armas UAV que (mientras se está midiendo con uso de unidades comunes) aumentaron la cantidad de alternativas para analizar. La investigación llegó a la conclusión de que esta medición de los beneficios junto con el modelado de la dinámica de las alternativas del sistema fue una mejora importante de las decisiones tomadas utilizando los costos de las alternativas (Housel y Cook 2005; Housel y Bell 2001; Housel et al., 2001).

El caso de estudio analizado en este trabajo compara los resultados de la investigación de la NPS y procura mejorar la toma de decisiones mediante la integración de una medida común de los beneficios de los intangibles, la toma de decisiones basada en interacciones y la dinámica de sistemas aplicada a los cambios. El NPS propuso como tema para una mayor investigación la capacidad de indicar los sub-procesos que mejoren las alternativas. A modo de ejemplo, mientras se pensaba que el aumento de la alternativa "fuel capacity", fue la razón para que un sub-proceso llamado "fire misión development" haya sido mejorado, pero se descubrió a partir de la simulación dinámica que la causa real de la mejora fue un aumento de la " gama de vehículos ", porque esta alternativa reduce la posibilidad de perder un objetivo (frente a no poder volver a adquirir un blanco perdido y que necesitan más tiempo, el uso de combustible, etc.).

Esto es investigado bajo la fase de toma de decisiones alternativas, lo que proporciona un método para identificar si los cambios se llevarán a cabo.

El estudio NPS también hizo uso de modelos para generar pronósticos de rendimiento durante la adquisición, "la comparación de esas previsiones con las operaciones actuales y utilizar los resultados para mejorar la fidelidad del modelo con el sistema. El modelo mejorado se puede utilizar para analizar los cambios o sustitución del sistema a lo largo de su ciclo de vida "(Ford, Housel y Dillard, 2010). El marco propuesto utilizará dinámica de sistemas de las alternativas seleccionadas para analizar los comportamientos de las demoras y las interacciones entre las alternativas.

El modelo de dinámica de sistemas propuesto se usa para medir el valor del conocimiento. El sistema resultante de los procesos alternativos seleccionados en el análisis MOC se cifra ahora en un modelo de

dinámica de sistemas. Los ingresos y gastos se utilizan para la valoración del conocimiento basado en métodos KVA, y constituyen las variables para cada uno de los procesos (estas variables se consideran rentabilidad de las acciones de conocimiento). La Figura 5 demuestra el diagrama causal del sistema alternativo de los procesos seleccionados en el análisis MOC. Esta es la fase final de la estructura. La Figura 6 representa un modelo SD que se generara como paso final en el marco de este caso de estudio.

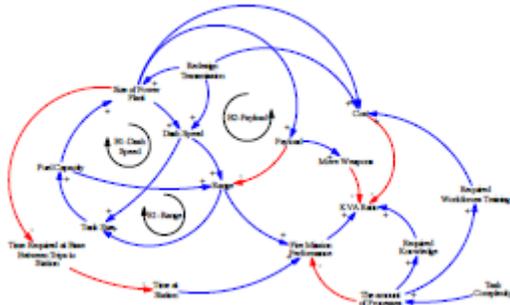


Figure 3: Diagrama causal de los UAVs

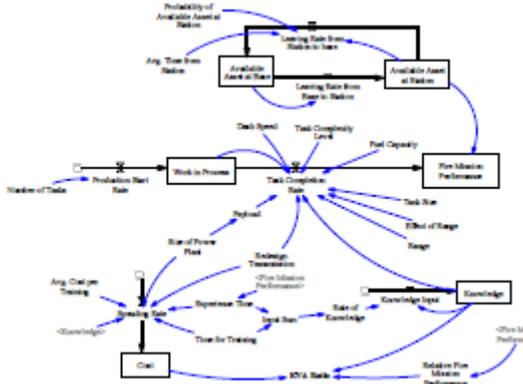


Figure 4: Modelo de dinámica de sistemas de los UAVs

V. CONCLUSIONES

El conocimiento es claramente uno de los recursos estratégicos más importantes para mantener la competitividad y las empresas necesitan tanto crearlo como gestionarlo. La efectiva toma de decisiones en entornos de complejidad dinámica requiere un análisis ampliado y modelos que puedan describir estos comportamientos complejos. El marco propuesto utiliza la complejidad del conocimiento como un método más apropiado para medir el valor de los procesos de conocimiento intangibles. Desde allí se realiza el análisis de alternativas, basado en sus interacciones, la viabilidad y la estabilidad de un sistema con procesos modificados y/o nuevos. La literatura existente no analiza las interacciones de los procesos de conocimiento antes de que se realicen cambios y

tampoco modelan los sistemas resultantes de manera dinámica para los fines de control y la comparación de las variables de proceso. El marco propuesto selecciona metodológicamente los procesos de candidatos, estudia sus interacciones, y modela de forma dinámica el valor añadido por el conocimiento para la toma de decisiones alternativas. La combinación estructurada de las metodologías existentes propone un medio para la comprensión de valor cómo las inversiones de proceso que afectan al valor agregado mientras que proporciona dinámicamente retorno de la inversión.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Thomas Housel de la Naval Postgraduate School NPS, y la institución Fulbright, Colciencias por apoyo al autor E. Gutiérrez.

REFERENCIAS

1. Ford, D., Housel, T., and Dillard, J. "System Dynamics Modeling for Improved Knowledge Value Assessment: A Proof of Concept Study." Master Thesis., Naval Postgraduate School, August 2010.
2. Guthrie, J. "Management, Measurement and Reporting of Intellectual Capital." Knowledge Management Magazine, Friday, June 22, 2001.
3. Pavlou P., Housel, T., Rodgers, W., and Jansen, E. "Measuring the Return on Information Technology: A Knowledge-Based Approach for Revenue Allocation at the Process and Firm Level," Journal of the Association for Information Systems, 6(7), 199-226/July 2005.
4. Cook, G., and Dyer, J. "Business Process Reengineering With Knowledge Value Added Support of the Dept of the Navy CIO." September 2003.
5. Curley, M. Managing information technology for business value: practical strategies for IT and business managers, Hillsboro, or. Intel Press, 2004.
6. Brynjolfsson, E., Renshaw, A., and Alstyne, M. "The Matrix of Change: A Tool for Business Process Reengineering." Management Review 38 (1997).
7. Richardson, T. Total Quality Management: Delmar Publishers, 1997.
8. Housel, T., and Cook, G. "An Approach to Valuing Intellectual Capital in Defense Processes Using the Market Comparables Approach," Naval Postgraduate School, IC Conference 2005.
9. Sterman, J. D. Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world, Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

10. Housel, T., and Bell, A. *Measuring and Managing Knowledge*, McGraw-Hill, New York, 2001.
11. Housel, T., El Sawy, O., Zhong, J. J., and Rodgers, W. "Measuring the Return on Knowledge Embedded in Information Technology" Twenty-Second International Conference on Information Systems, 2001.
12. Vensim DSS. Vensim Reference Supplement, 2003.
13. Press, W., Teukolsky, S., Vetterling, W. & Flannery, B. *Numerical recipes in C: the art of scientific computing*. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1992.
14. Powell, M.J.D. An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives. *The Computer Journal*, 7(2), 1964: 155-162.
15. Housel, T and Kanevsky, V A. "Reengineering business processes: A complexity theory approach to value added"; *INFOR*, Nov 1995.
16. Serman, J. D., 2000, "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World", McGraw-Hill Higher Education.
17. Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W. T. & Flannery, B.P. (1992). *Numerical recipes in C: the art of scientific computing*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
18. Powell, M. (1964). An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives. *The Computer Journal*, 7(2), 155-162.
19. Vensim DSS (2003). Vensim Reference Supplement.
20. Rabelo, L., Eskandari, H., Shaalan, T., Helal, M. (2007). "Value chain analysis using hybrid simulation and AHP"; *International Journal of Production Economics*, 105(2), 536-547.
21. Marco Percoco, Emanuele Borgonovo. (2012) A note on the sensitivity analysis of the internal rate of return. *International Journal of Production Economics* 135:1, 526-529

## 77. RENEWABLE ELECTRICITY: THREATS AND OPPORTUNITIES FOR UTILITIES

**MÓNICA CASTAÑEDA, CARLOS JAIME FRANCO**

Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia  
mcastanr@unal.edu.co, cjfranco@unal.edu.co

**ISAAC DYNER REZONZEW**

Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia,  
idyner@yahoo.es

### ABSTRACT

The technology shift from fossil-fuelled systems to renewable energies has been promoted by governments with the purpose of decarbonising the electricity industry. Nevertheless, rapid technology progress has prompted a disruptive change that is transforming market structures. Electricity utilities with traditional business models, particularly those based on fossil-fuel plants, are shifting from their static and reliable position to confront disruptive renewable challenges. Under these circumstances, it is necessary to reinvent their business models to survive. In this new industry environment, threats and opportunities must be clearly understood.

The purpose of this paper is to identify major threats and opportunities for electricity utilities, with the support of system dynamic (SD) modelling. The unit of analysis is the firm and its rivals, focusing on their corresponding resources and capabilities. Through simulation runs, this paper concludes that the major threat for utilities is micro-generation; but at the same time, new opportunities emerge as micro-generation creates new market niches.

**KEYWORDS:** Business Model, Electricity Utilities, Renewable Disruption, Opportunities, Threats.

### I. INTRODUCCIÓN

El sector de la energía eléctrica es responsable de la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero del mundo, debido a la generación de electricidad a partir de la quema de combustibles fósiles, este efecto puede mitigarse a partir de la promoción de las energías renovables (Eyraud, Clements, & Wane, 2013; Auer, Resch, & Held, 2009). Apoyar las energías renovables se ha convertido en una prioridad política de los gobiernos desarrollados alrededor del mundo (Wu & Huang, 2014).

Actualmente, algunos gobiernos han establecido objetivos de reducción de emisiones y de generación renovable, para lograr esto parece necesario volver a un enfoque más centralizado, ya que los mercados liberalizados actuales no proporcionan señales que fomenten la inversión en tecnologías bajas en emisiones de carbono (Keay, Rhys, & Robinson, 2013; Pollitt & Haney, 2013).

Los negocios tradicionales del sector eléctrico necesitan desarrollar estrategias de línea con la política energética de su gobierno, en donde se presentan condiciones de incertidumbre, una rápida transformación tecnológica y un entorno industrial competitivo (Shah, Palacios, & Ruiz, 2013; Richter, 2012)

### II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Algunos ven las energías renovables como tecnologías disruptivas, dado que: las energías renovables tienen costos variables cercanos a cero, por lo tanto el aumento de la generación de electricidad renovable desplaza la generación convencional, induciendo un bajo precio mayorista de electricidad (Sáenz de Miera, del Río González, & Vizcaino, 2008; Rathmann, 2007). Además, la micro generación disminuye los beneficios de las empresas al reducir la demanda de electricidad de la red (Schleicher-Tappeser, 2012).





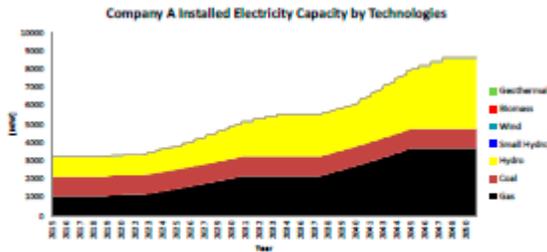


Figura. 4. Compañía A Capacidad instalada por tecnología en el escenario 1 "Pesimista"

Figura. 4. Compañía A Capacidad instalada por tecnología en el escenario 1 "Pesimista"



Figura. 5. Porcentaje de mercado Compañía A escenario 1 "pesimista"

El crecimiento de la demanda de electricidad aumenta el ingreso de generación; sin embargo, los ingresos de la distribución y comercialización son mayores debido al crecimiento de los clientes (Ver Fig. 6 y Fig. 7, respectivamente).

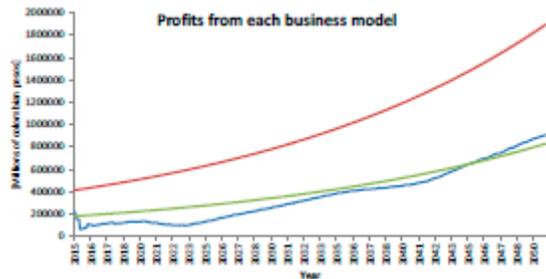


Figura.6. Ingreso de la Compañía A de cada modelo de negocio, Escenario 1 "Pesimista"

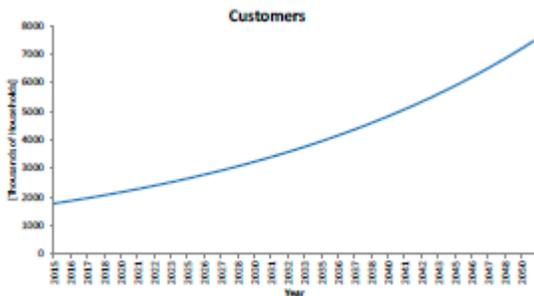


Figura. 7. Evolución de los clientes de la Compañía A, escenario 1 "Pesimista"

Bajo el escenario 2, que es el más optimista para el despliegue de renovables, se supone un alto costo de la energía renovable y una política ambiental fuerte. Para la empresa A, un cambio de las tecnologías fósiles a las energías renovables es difícil, debido a sus capacidades básicas en tecnologías convencionales. Además, el mercado de capacidad estimula las inversiones en energías convencionales. No obstante, el FIT permite a la Compañía A pequeñas inversiones renovables (Ver Fig. 8). La cuota de mercado de la Compañía A muestra el mismo comportamiento que el escenario 1, por las razones antes mencionadas (Ver Fig. 9).

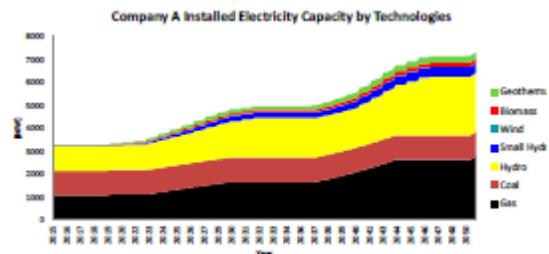


Figura. 8. Capacidad instalada por tecnología en el escenario 1 "Optimista"

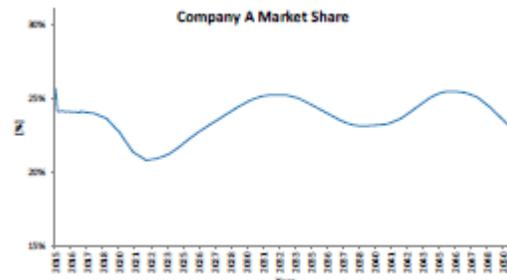


Figura. 9. Porcentaje de mercado Compañía A, escenario 2 "Optimista"

Sistemas fotovoltaicos son incentivados por el incentivo a la inversión y el progreso de la curva de aprendizaje. Mientras los propietarios de solar PV aumentan en número, la demanda de electricidad se reduce y los cargos pagados por aquellos que no tienen sistemas fotovoltaicos se incrementan aún más.

Este bucle de refuerzo llevaría a un punto muerto en el crecimiento de los clientes de la compañía A; se asume una tasa de crecimiento de los clientes, no obstante los clientes serán reducidos por difusión sistemas fotovoltaicos (Ver Fig.10 y Fig. 11, respectivamente).

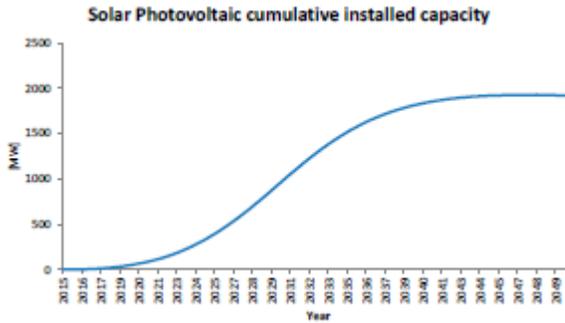


Figura. 10. Capacidad instalada acumulada solar PV donde la Compañía A es operador de red



Figura. 13. Ingreso total de compañía A para cada escenario

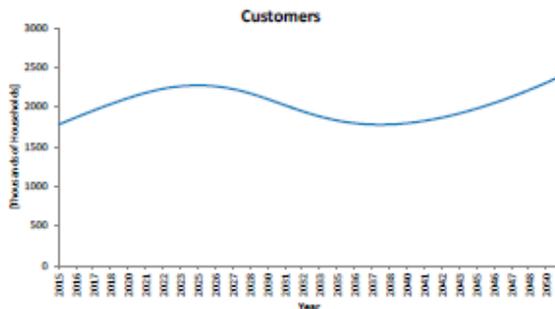


Figura. 11. Evolución de los clientes de la Compañía A, escenario 2 "Optimista"

Fig. 12 muestra la reducción del ingreso de cada negocio, los beneficios de la distribución y comercialización. En la Fig.12 también se observa el ingreso de un modelo "alquiler de techo", que es una alternativa en la que los servicios públicos alquilan un espacio en el techo del dueño de una casa, para instalar y operar un sistema de energía solar fotovoltaica (Klose, Kofluk, Lehrke, & Rubner, 2010). Para evitar la reducción de su propia demanda de electricidad; la empresa A busca otra área de servicio para desarrollar un modelo de "alquiler de techo". A pesar de que la Compañía A recibe un incentivo a la inversión, el beneficio de un modelo de "alquiler de techo" es insignificante en comparación con los otros negocios; en el Escenario 2 el ingreso total de la Compañía es mucho menor en comparación con el escenario 1 (Ver Fig. 13).

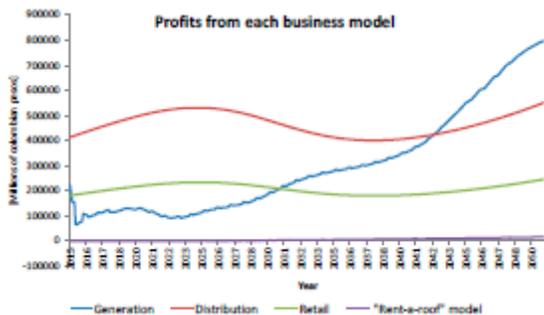


Figura. 12. Ingreso de la Compañía A de cada modelo de negocio, Escenario 2 "Optimista"

### V.CONCLUSIONES

La inversión de proyectos de energía renovable a gran escala puede ser retrasada por la intervención del mercado de capacidad, puesto que fomenta la capacidad convencional. Por lo tanto, el actual marco regulatorio del mercado eléctrico colombiano no fomenta el desarrollo de proyectos de energía renovable a gran escala; aunque puede beneficiar a las compañías eléctricas convencionales. Además, las capacidades y recursos de las empresas pueden influir en la tendencia a adoptar tecnologías bajas en carbono más que la presencia de un FIT para los grandes proyectos renovables. Se requieren más corridas de simulación y análisis para empresas con diferentes capacidades y recursos.

El número de adoptadores fotovoltaicos aumenta, por lo que la demanda de electricidad se reduce y los cargos pagados por los propietarios no fotovoltaicos aumenta. Esto es claramente una amenaza para las empresas ya que el crecimiento de sistemas fotovoltaicos reducirá cada vez más la demanda de electricidad. Esto significa un estancamiento en términos de crecimiento de los clientes de la compañía; los negocios de distribución y comercialización son los principales afectados. Las empresas pueden implementar un modelo de "alquiler de techo", que debe ser desarrollado en diferentes áreas del operador de red para evitar reducir su propia demanda de electricidad. Aunque un modelo de "alquiler de techo" podría representar un nuevo nicho de mercado, las ganancias obtenidas de este modelo son insignificantes y no compensan el efecto resultante del despliegue de la energía solar fotovoltaica.

En conclusión, el despliegue de energía solar fotovoltaica socava la rentabilidad de las empresas con un portafolio térmico. Un modelo de "alquiler de techo" representa un nicho de mercado; Sin embargo, no es

suficiente para recuperar la pérdida de rentabilidad causada por el despliegue solar fotovoltaico.

## REFERENCIAS

- Aragón-Correa, J. A., & Rubio, -Lopez E a. (2007). Proactive Corporate Environmental Strategies: Myths and Misunderstandings. *Long Range Planning*, 40, 357–381. doi:10.1016/j.lrp.2007.02.008
- Auer, H., Resch, G., & Held, A. (2009). Regulatory instruments to deliver the full potential of renewable energy sources efficiently 1, 3(2), 1–34.
- Bass. (1969). A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 15(5), 215–227.
- Bayod-Rújula, A. a. (2009). Future development of the electricity systems with distributed generation. *Energy*, 34(3), 377–383. doi:10.1016/j.energy.2008.12.008
- Cansino, J. M., Pablo-Romero, M. D. P., Román, R., & Yñiguez, R. (2011). Promoting renewable energy sources for heating and cooling in EU-27 countries. *Energy Policy*, 39, 3803–3812. doi:10.1016/j.enpol.2011.04.010
- Couture, T., & Gagnon, Y. (2010). An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy Policy*, 38(2), 955–965. doi:10.1016/j.enpol.2009.10.047
- Dyner, I., & Franco, C. J. (2004). Consumers' bounded rationality: The case of competitive energy markets. *Systems Research and Behavioral Science*, 21, 373–389. doi:10.1002/sres.644
- El-Khattam, W., & Salama, M. M. a. (2004). Distributed generation technologies, definitions and benefits. *Electric Power Systems Research*, 71(August 2002), 119–128. doi:10.1016/j.epr.2004.01.006
- Eyraud, L., Clements, B., & Wane, A. (2013). Green investment: Trends and determinants. *Energy Policy*, 60, 852–865. doi:10.1016/j.enpol.2013.04.039
- Keay, M., Rhys, J., & Robinson, D. (2013). Chapter 2 – Electricity Market Reform in Britain: Central Planning Versus Free Markets. In *Evolution of Global Electricity Markets New Paradigms, New Challenges, New Approaches* (pp. 31–57). doi:doi:10.1016/B978-0-12-397891-2.00002-X
- Klose, F., Kofluk, M., Lehrke, S., & Rubner, H. (2010). *Toward a Distributed-Power World*, (June).
- Pollitt, M. G., & Haney, A. B. (2013). Dismantling a Competitive Electricity Sector: The UK's Electricity Market Reform. *The Electricity Journal*, 26(10), 8–15.
- Rathmann, M. (2007). Do support systems for RES-E reduce EU-ETS-driven electricity prices? *Energy Policy*, 35(1), 342–349. doi:10.1016/j.enpol.2005.11.029
- Ren21. (2014). *Renewables 2014 Global Status Report* (pp. 1–214). Retrieved from [http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014\\_full\\_report\\_low\\_res.pdf](http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full_report_low_res.pdf)
- Richter, M. (2012). Utilities' business models for renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2483–2493. doi:10.1016/j.rser.2012.01.072
- Sáenz de Miera, G., del Río González, P., & Vizcaíno, I. (2008). Analysing the impact of renewable electricity support schemes on power prices: The case of wind electricity in Spain. *Energy Policy*, 36(9), 3345–3359. doi:10.1016/j.enpol.2008.04.022
- Schleicher-Tappeser, R. (2012). How renewables will change electricity markets in the next five years. *Energy Policy*, 48, 64–75. doi:10.1016/j.enpol.2012.04.042
- Shah, A. N., Palacios, M., & Ruiz, F. (2013). Strategic rigidity and foresight for technology adoption among electric utilities. *Energy Policy*, 63, 1233–1239. doi:10.1016/j.enpol.2013.08.013
- Talavera, D. L., Nofuentes, G., & Aguilera, J. (2010). The internal rate of return of photovoltaic grid-connected systems: A comprehensive sensitivity analysis. *Renewable Energy*, 35(1), 101–111. doi:10.1016/j.renene.2009.07.006
- Wahyuni, D., & Ratnatunga, J. (2014). Carbon strategies and management practices in an uncertain carbonomic environment – lessons learned from the coal-face. *Journal of Cleaner Production*, 1–10. doi:10.1016/j.jclepro.2014.01.095
- Wu, J.-H., & Huang, Y.-H. (2014). Electricity portfolio planning model incorporating renewable energy characteristics. *Applied Energy*, 119, 278–287. doi:10.1016/j.apenergy.2014.01.001

## AUTORES



**MÓNICA CASTAÑEDA** received the Engineering degree in Management Engineering in 2011 from National University of Colombia, her master degree in System Engineering was obtained in 2014 and she is a PhD student, her current research interest are electricity markets, renewable energy, simulation, and policy analysis.



**CARLOS JAIME FRANCO** is civil engineer, PhD in engineering his current research interest are modeling systems, energy markets, and complexity. He is a

professor of complex system at the National University of Colombia, he also has experience in the electricity sector after working by ten years in ISA an important company in the wholesale Colombian electricity market.



**ISAAC DYNER** is a PhD in Decision Sciences from the University of London (LBS); he has a Master's degree in Statistics and Operational Research and Undergraduate Mathematics. He has taught at the National University of Colombia in the areas of Operations Research, System Dynamics, Strategy, Regulation and Energy.



## 78. ENTORNO LABORAL: UN ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS Y SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES

MARIO MARÍN, LUIS RABELO, EDGAR GUTIERREZ, LAURA NOREÑA, JOHN PASTRANA

University of Central Florida - United States of America

mmarin@knights.ucf.edu, Luis.Rabelo@ucf.edu, edgargutierrezfranco@gmail.com, laura.norena@gmail.com, pastranaja@knights.ucf.edu

### ABSTRACTO

Muchos factores han influido en la fuerza laboral del Centro Espacial Kennedy (KSC) de la NASA, incluyendo la directiva presidencial para el regreso al espacio, y una fecha de finalización del programa del transbordador espacial declarada para el 2010, y la Visión para la Exploración Espacial, que requiere el desarrollo de un nuevo vehículo espacial. Además, los factores externos tales como el costo de vida en la Florida Central, la disponibilidad de empleados técnicos calificados, y la tasa de desempleo afectan el clima general de la fuerza laboral. Es necesario entender cómo estos diferentes factores que influyen en el clima general de la fuerza laboral pueden hacer que gestión de capital humano sea compatible con la seguridad y el éxito de las misiones. Esto es también importante para posicionar estratégicamente al Centro Espacial y así ejecutar su nueva misión. Durante nuestro esfuerzo, se utilizaron modelos de Dinámica de Sistemas para capturar algunos de estos factores. Estos modelos proporcionan un buen punto de partida para desarrollar modelos basados en agentes que pueden capturar las características particulares que no son posibles con los modelos de dinámica de sistemas originales.

**KEYWORDS:** Modelos de Simulación, Dinámica de Sistemas, Fuerza laboral, Entorno, Agentes.

### I. INTRODUCCION

La motivación de este trabajo son las tendencias en el entorno empresarial de la NASA hacia una mayor integración en los sistemas y el creciente interés en modelos de simulación. Los gerentes están bajo creciente presión para superar las barreras organizativas tradicionales y gestionar sus sistemas de forma más sincronizada. Sin embargo, los administradores no poseen una herramienta para la toma de decisiones para modelar y analizar de manera integral las políticas y el desempeño de estos sistemas de gestión. Esta herramienta de toma de decisiones tiene que ser fácil de usar, completa, escalable y capaz de modelar los distintos niveles de detalles y la disponibilidad de datos que a su vez, ofrecen varios niveles de análisis que se ajustan a los diferentes niveles de la organización. Por ejemplo, una herramienta para la toma de decisiones para la planificación de la planilla tiene que abarcar los niveles estratégicos y tácticos. A diferencia de otras organizaciones comerciales, el entorno empresarial de la NASA incluye actividades de proyectos. Esto implica

diferentes frecuencias de la toma de decisiones y los horizontes de planificación y diferentes necesidades de los detalles en los análisis y evaluaciones [1].

Por encima de eso, las interacciones y las relaciones de causa y efecto entre los niveles de gestión y las unidades de ingeniería deben ser consideradas en el modelamiento y el análisis del rendimiento del sistema.

Este esfuerzo demuestra construcción de esta herramienta de toma de decisiones para el entorno de la Fuerza Laboral, utilizando un enfoque de modelado mezclado con la dinámica del sistema como el núcleo para proporcionar a los administradores una capacidad de análisis para planificación.

La organización del trabajo es la siguiente: en la Sección II se explican las metodologías y características principales de la herramienta. La sección III muestra objetivos basados en la metodología, la sección IV el modelo de dinámica de sistemas, la sección V muestra el modelo basado en agentes, en la sección VI se pueden encontrar las conclusiones.



- Características demográficas de la fuerza laboral / Cadena de envejecimiento: Las características de la fuerza de trabajo, formación, orientación, diversidad y diferentes políticas de contratación.
- Arquitectura del Sistema: Las características de las misiones, de los vehículos espaciales, calendario, y la forma en que se asignan requisitos de funcionamiento / de la fuerza laboral.
- Toma de decisiones: Las diferentes dinámicas asociadas con la toma de decisiones. Los modelos mentales y asuntos culturales de seguridad y anuencia están incluidos en esta área.
- Entorno del Programa / Proyecto: El entorno del proyecto y los requisitos operativos para desarrollar tareas y alcanzar metas trazadas. Presiones de programación, solución de problemas, motivación, satisfacción en el trabajo y sus efectos en otras áreas.
- Cadena de Suministro: La red de actividades y agentes requeridos en la agencia espacial NASA. Conocimiento, contratistas, presupuesto, recursos, y el desarrollo del empleado son factores importantes que se deben considerar.

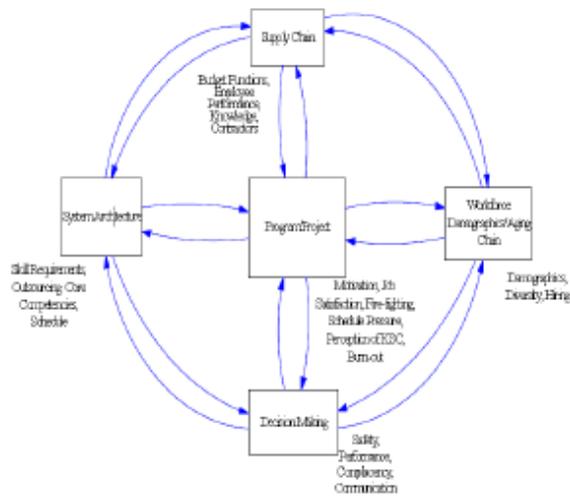


Figura 2. Áreas y sus interacciones.

Los diferentes modelos / áreas estarán interactuando en un enfoque de retroalimentación integrado. Cuando un modelo se debe utilizar, depende en el uso proyectado del modelo y el nivel de detalles requerido en el análisis. Una mejora potencial de desarrollar la plataforma de simulación empresarial es la comunicación entre los modelos SD y los sistemas la mano de obra de la empresa de tal manera que los modelos cambian automáticamente y comparten datos durante su ejecución. La importancia recae en la capacidad de

tener en cuenta tendencias y utilización de datos/información recientes.

#### IV. MODELO DE DINAMICA DE SISTEMAS

El modelo de dinámica de sistemas que demuestra el envejecimiento de la fuerza laboral, captura diferentes patrones de comportamiento de los empleados [4]. El modelo tiene más de 63 ecuaciones diferenciales (Figura 3). Un simulador utilizando el software AnyLogic ([www.anylogic.com](http://www.anylogic.com)) está en el centro de la simulación, sin embargo el modelo originalmente fue desarrollado en el entorno Vensim ([www.vensim.com](http://www.vensim.com)).

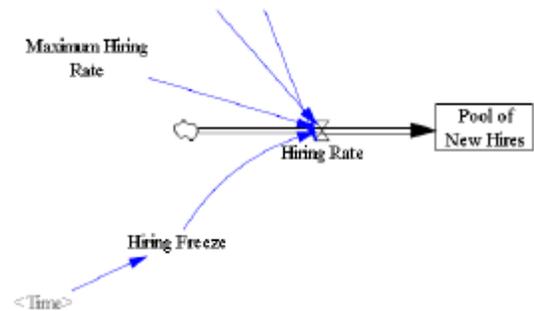


Figura 3. Una ecuación diferencial del modelo de dinámica de sistemas de entorno laboral.

La validación de los modelos iniciales se logró mediante el uso de datos históricos y mediante la presentación de los modelos resultantes de expertos en la materia externos a la empresa, que proporcionó opiniones y análisis imparciales.

Además, las nuevas rondas de entrevistas y sesiones de discusión con los diferentes miembros de la organización de la empresa se llevó a cabo para verificar la validez de los modelos y calibrar según sea necesario para reflejar las sugerencias y recomendaciones obtenidas y llegaron a algunas conclusiones iniciales básicas (es decir, las tendencias a nivel agregado) del estado de la fuerza de trabajo.

Según el entorno de la fuerza de trabajo en el año 2005 de la NASA KSC, los resultados muestran los siguientes gráficos que corroboran la situación de la fuerza laboral que envejece proyectada para los próximos 20 años. Las gráficas de selectos grupos de edad laboral muestran:

*La fuerza de trabajo de 23 a 30 de edad* (Figura 4) se inicia en 200 y de manera constante disminuye en los próximos 8 años, llegando a un mínimo por debajo de 100 para luego aumentar durante los 12 años siguientes hasta que alcanza 150.

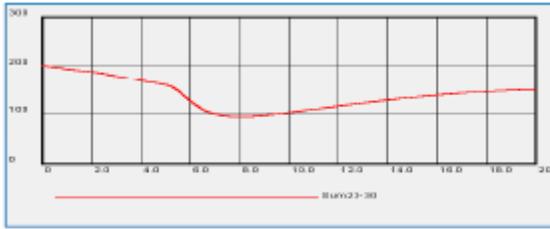


Figura 4. Fuerza laboral de 20-30 años.

La fuerza laboral de 41 a 50 años de edad (Figura 5) inicialmente comienza en 850 y aumenta por unos 2 años y medio hasta 920 luego disminuye en los próximos 10 años cuando se alcanza un número bajo de 275. A continuación, aumenta los 12,5 años siguientes, llegando a 540 el número de empleados luego invierte su curso y se sube hasta 575 en 2025.

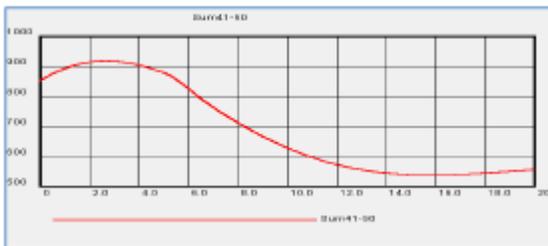


Figura 5. Fuerza laboral de 41-50 años.

Finalmente, la Figura 6, representa el número total de la fuerza de trabajo de los empleados que van a ser necesarios (estimaciones y condiciones de la fuerza de trabajo para el año 2005) en los próximos 20 años. El gráfico muestra un aumento repentino en el número de empleados durante los años 2005 y 2009 y una reducción de plantilla repentina y rápida en 2009 que duró hasta aproximadamente hasta el año 2012. Después de este cambio repentino, la reducción alivió un poco y alcanza un nivel más estable de 1900 empleados por el resto del período simulado hasta el año 2025. La gestión de la reducción proyectada la concientización por parte de la gerencia/administración del hecho de que hay cambios a realizar en las políticas de contratación y estrategias con el fin de seguir ofreciendo producción de calidad para las actuales y futuras demandas proyectadas del centro de la NASA KSC. Lo más importante, la realización de este hecho de que la fuerza laboral debía reducirse y que se hizo muy clara por la representación mostrada en la Figura 7, que demuestra una clara brecha entre la mano de obra total y los requerimiento de la oficina de gestión y presupuesto.

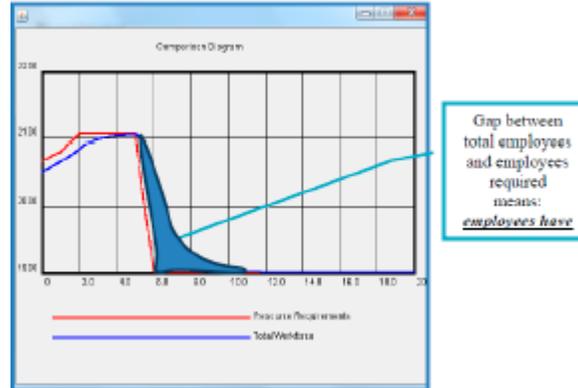


Figura 6. Mano de obra total vs. Requerimientos de la oficina de gestión y presupuesto

## V. MODELO BASADO EN AGENTES

Un modelo basado en agentes (Figura 7) también fue construido basado originalmente en el modelo de dinámica de sistemas. Sin embargo, la representación por medio de agentes permite comportamientos más complejos [5]. Hay dos tipos de agentes básicos: un representa un empleado (por ejemplo, un especialista de carga) y el otro representa el empleador (NASA KSC). Este modelo basado en agentes fue construido usando AnyLogic.

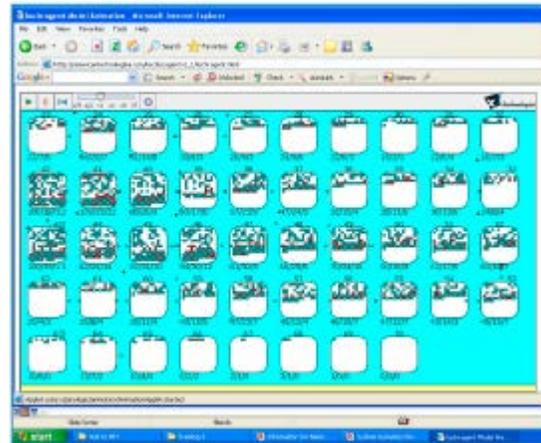


Figura 7. Animación del modelo basado en agentes, cada punto representa un empleado.

Como fue mencionado anteriormente, en este caso, agentes son empleados de la NASA y las entidades de la NASA KSC que tienen ciertas características y comportamientos, y que a su vez realizan ciertas interacciones entre ellos. El estudio de caso de la NASA KSC proporciona la información básica necesaria para desarrollar la arquitectura que se utiliza para crear el modelo de simulación que soporte la simulación del entorno de la fuerza laboral de la NASA KSC y todos los elementos dentro de ella para permitir la exploración de

los impactos en todo el sistema de la empresa. Además, la utilización de los conceptos de simulación basado en los roles y las respectivas reglas de negocio de NASA KSC y sus interacciones fueron tomados en consideración.

EL software Anylogic, provee gráficos de estado (Statecharts) que pueden ser utilizados para representar el comportamiento de los agentes. Los gráficos de estado en AnyLogic se basan en el trabajo de Harel [6] y Maler [7]. Un statechart es un diagrama de estado sofisticado. Un diagrama de estados es un grafico dirigido en el cual los nodos representan los estados y las flechas (marcadas con desencadenar eventos y guardando condiciones) denotan transiciones/interacciones entre estados (Figura 8). Los gráficos de estado funcionan siguiendo esta regla: Si el evento se produce cuando el sistema está en el estado, si la condición es verdadera en el momento, a continuación, el sistema transfiere a estado. El representa el evento de activación, que no es para hacer que la transición ocurra si no se cumple la condición. Es una condición que guarda/seguridad en el sentido de que impide la transición si llevase el sistema a un estado incorrecto.

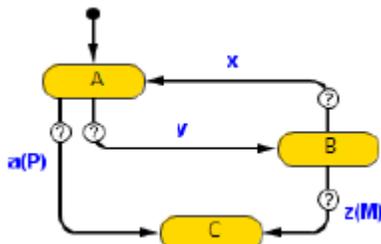


Figura 8. Gráficos de Estado

VI. CONCLUSION

El modelo integral propuesto mejora las comunicaciones entre los tomadores de decisiones de alto nivel y los niveles más bajos en la medida en que sugerimos planes estratégicos sujetos a ajustes periódicos y modificaciones basadas en la información de realimentación desde niveles inferiores a los tomadores de decisiones. Esto aumentaría la capacidad de respuesta del grupo laboral de NASA KSC y su capacidad de proporcionar planificación proactiva para evitar y / o superar tendencias negativas.

Adicionalmente, la interacción se realiza a través de una serie de mensajes intercambiados entre los agentes del sistema. La Figura 9 demuestra las transiciones de estado del agente KSC empresa de acuerdo con los mensajes recibidos de los demás agentes del sistema y

de eventos particulares del sistema. Tan pronto como se reciben los mensajes, este agente experimenta una transición y se traslada a un nuevo estado. En nuestro caso de estudio, el estado inicial (hr\_atwork) del agente KSC Empresa (hr - recursos humanos) es un estado de reposo, tan pronto como el mensaje / solicitud es recibida ya sea para reducir la fuerza de trabajo (wfReductionRequest) o contratar a un empleado (hireRequest) a continuación, los cambios de estado ocurren a un estado (hr\_hiring contratación) o la reducción de la fuerza de trabajo (hr\_wfr). Además, el estado laboral reduciendo entra a cualquiera de 3 estados diferentes: el despido de empleados (hr\_layingoff), retirándose (hr\_retiring) o enviando a un empleado que está partiendo a un nuevo trabajo (hr\_interview).

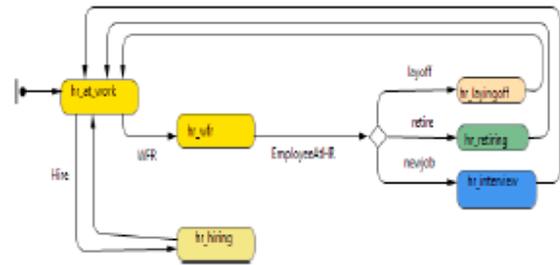


Figura 9. Gráficos de estado de agentes de NASA KSC.

Transiciones de estado agentes / empleados de acuerdo a los mensajes recibidos de otros agentes del sistema y de eventos particulares del sistema. Inicialmente, el agente comprueba su / su edad y, o bien se queda en su grupo de edad actual o se mueve al siguiente grupo de edad. Si su edad es mayor de 70 años de edad entonces el agente abandona el sistema. Transiciones adicionales pueden ser provocadas por los mensajes de reducción de plantilla, que significa dejar el sistema. Este agente realizará la transición a un estado de cualquiera de jubilarse (retirarse), deje la NASA KSC para un nuevo trabajo (moving\_on) o ser despedidos (forced\_out) entonces el agente dejará el sistema (leaving\_KSC). La figura 10 muestra las transiciones de estado agente KSC Empleado.

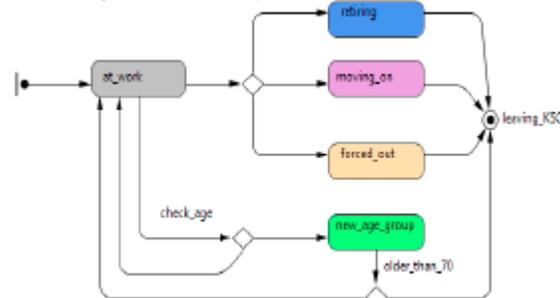


Figura 10. Transiciones de estado agente KSC Empleado.

## AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría reconocer el excelente trabajo realizado por el personal en el grupo de desarrollo organizacional de KSC NASA y todo el personal en American Technologika.

## REFERENCIAS

- [1] Linard, K. T., M. Blake, and D. Paterson. Optimising Structure the System Dynamics of Employment Planning.
- [2] Coyle, R. G. 1985. The Use of Optimization Methods for Policy Design in a System Dynamics Model, System Dynamics Review, Vol 1, No 1, Summer, pp. 81.
- [3] Coyle, R. G. 1996. System Dynamics Modelling, A Practical Approach, Chapman and Hall, pp. 236.
- [4] Sholtes, R. M. 1994. Optimising System Behaviour Using Genetic Algorithms, International System Dynamics Conference, Methodological and Technical Issues, pp.246.
- [5] Robertson, D. A. and A. A. Caldart (2008). "Natural Science Models in Management: Opportunities and Challenges." Emergence : Complexity and Organization 10(2): 61-75.
- [6] Haler, D., 1987, "Statecharts: A visual formalism for complex systems", Science of Computer Programming, 8, pp 231-274
- [7] Maler, O.; Manna, Z.; Pnueli, A.; 1992; "From timed to hybrid systems"; In Real-Time: Theory in Practice, Eds. Bakker, J.; Huizing, C.; Roever, W.; Rozenberg, G.; Springer-Verlag, Germany

## AUTORES

**MARIO MARÍN** Ingeniero Industrial Doctorado, Maestría y pregrado de la Universidad de la Florida Central. Se especializa en simulación y modelado. Sus intereses abarcan la investigación en simulación interactiva (LVC) y la integración e interoperabilidad de sistemas de simulación.

**LUIS RABELO**, NASA Fellow, Investigador Principal, y Gerente de Investigaciones de proyectos de tecnología avanzada Universidad de la Florida Central (2001-Presente).

**EDGAR GUTIERREZ** Investigador y estudiante de doctorado en la Universidad de la Florida Central en Ingeniería Industrial. Maestría de Ingeniería Industrial

Universidad de los Andes, Colombia. Al rededor de 10 años de experiencia en temas de Investigación de Operaciones y gestión de cadena de suministro en academia e industria.

**LAURA NOREÑA** Estudiante de maestría en la Universidad de la Florida Central en Ingeniería Industrial. Maestría y pregrado en Matemáticas Universidad de la Florida Central.

**JOHN PASTRANA** Doctorado Universidad de la Florida Central en Ingeniería Industrial - Simulación y Modelado. Maestría de Ingeniería Industrial Universidad de la Florida Central. Pregrado/Universitario en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la Florida Central.

## 79. MODELO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS LISTAS DE ESPERA EN PACIENTES DE CIRUGÍAS ELECTIVAS EN EL SISTEMA DE SALUD COLOMBIANO

**VICTOR J. ESCALLON, LEONARDO RODRIGUEZ**

Universidad Icesi

programacion.quirofanos@correo.icesi.edu.co, leonardo.rod91@gmail.com

**LEONARDO RIVERA**

Universidad del Valle - Colombia

leonardo.rivera.c@correounivalle.edu.co

### ABSTRACT

This paper presents an analysis of the relationship between the structure of the Colombian health-care system and its behavior serving patients for elective surgeries, using systems dynamics. Particularly, it focuses on the effects of policies for changing surgical capacity, in terms of availability of operating rooms and considering the number of recovery beds and surgeons. In addition, it examines the behavior of waiting list times and queue length of patients waiting surgery, adjusting the number of operations rooms in the Colombian health-care system. The model showed that the number of Operating Rooms available and the efficiency of its use, is the biggest constraint for reduce the waiting times for surgical patients, allowing a reduction of 12.21% for patients on surgery waiting list with the policies proposed for a horizon of twenty years.

**KEYWORDS:** System Dynamics, Elective surgery, capacity, Operating Room, waiting list, Colombian healthcare system.

### I. INTRODUCCIÓN

El sistema de salud colombiano ha incrementado su nivel de cobertura a valores cercanos al 95% del total de la población [1]. Si bien la cobertura ha aumentado de forma importante a partir de la Ley 100 de 1993, en los últimos años no se evidencia un crecimiento significativo en la capacidad de atención de los hospitales públicos colombianos y los incrementos de capacidad del sistema de salud han estado, principalmente, en manos del sector privado [2]. Al examinar los datos en detalle, el número de quirófanos y el número de camas destinadas a la recuperación de pacientes quirúrgicos no ha registrado un aumento apreciable y al calcular las cifras de crecimiento por cada cien mil habitantes, realmente la disponibilidad de quirófanos y camas en instituciones públicas ha disminuido.

Si se analiza la disponibilidad de médicos especialistas en Colombia, esta también es inferior a la demanda. Según el estudio realizado por el Centro de proyectos para el desarrollo –Cendex– [3], en Colombia se ha

observado un número creciente de programas académicos con especialidades médico quirúrgicas, pero aún existe un déficit de especialistas en el país. Esto hace que las IPS tiendan a contratar médicos especialistas por prestación de servicios en franjas de tiempo de acuerdo a la especialidad quirúrgica de cada médico y realizar las cirugías en esos bloques de tiempo, según cada especialidad quirúrgica, y esto a su vez limita la capacidad de las instituciones para la realización de cirugías.

Las consideraciones anteriores afectan la prestación del servicio de cirugías electivas en Colombia. Una cirugía electiva es una cirugía no urgente ni de emergencia, que puede esperar y está sujeta a programación por parte de la Entidad Promotora de Salud —EPS— y/o de la Institución Prestadora de Servicios de salud —IPS— que realiza la cirugía. Otra característica, que es tenida en cuenta en algunas definiciones, es que una cirugía electiva está sujeta a la decisión de realizarla o no, ya sea por decisión médica (según evolución del paciente)

o del paciente, al decidir no operarse y esperar la evolución de su condición médica.

Este artículo utiliza la Dinámica de Sistemas para proponer un modelo en el que es posible estudiar el comportamiento esperado del sistema de salud colombiano de acuerdo con las cifras disponibles de fuentes oficiales y estudios llevados a cabo en hospitales colombianos y ver el efecto que tendrían cambios en las políticas de capacidad sobre los tiempos de espera de los pacientes para cirugías electivas.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tiempo de espera para las cirugías electivas es un indicador de la eficiencia de un sistema de salud. Este registra el tiempo que el paciente espera desde que su médico ordena un procedimiento quirúrgico hasta que éste se realiza.

Los países miembros de la OECD calculan sus tiempos de espera de con cuatro posibles definiciones del indicador y en los países más desarrollados, para la mayoría de las cirugías electivas manejan tiempos de espera del orden de 0-3 meses en promedio (cifras de 2011) [4]. En contraste en Colombia, las IPS reportan cifras con una media de sólo 11 días y una desviación estándar de 21 días [5], cuando en la realidad del día a día, la espera para la mayoría de cirugías electivas supera los 60 días y 90 días, en algunos casos se acerca y supera los 120 días e incluso el año.

Parte del problema en Colombia, es que las IPS no están midiendo y reportando estos tiempos de forma adecuada [5] [6], lo cual lleva a registros que no permiten comparación con los indicadores de otros países al no tener calidad de la información reportada por parte de las IPS colombianas [6]. El tiempo de espera para cirugías electivas presenta errores en los reportes de las IPS [5, 6], pero a pesar de tomar sólo los registros válidos la cifra no da cercana a la realidad de los pacientes que esperan por la realización de su cirugía programada, tanto en IPS públicas como privadas.

La problemática de interés es estimar los tiempos de espera y el número de pacientes en cola de pacientes para cirugías electivas y observar el efecto de los cambios en dos políticas de interés: el número de quirófanos y el número de camas hospitalarias.

En éste análisis no se hicieron cambios en la disponibilidad de médicos especialistas para especialidades quirúrgicas.

La capacidad de atención de pacientes quirúrgicos se ha visto disminuida por la caída en el número de quirófanos disponibles en el sistema de salud pública colombiano. Según cifras del Sistema de Gestión de Hospitales Públicos de Colombia —SIHO— [2], al calcular la disponibilidad de quirófanos y camas, el número de quirófanos por cada cien mil habitantes ha disminuido. En la Fig. 1 se presentan los datos de número de quirófanos, obtenido del Sistema de información SIHO del Ministerio de Salud y Protección Social [2]. Los datos muestran el número de quirófanos disponibles y el número disponible normalizado a cien mil habitantes.

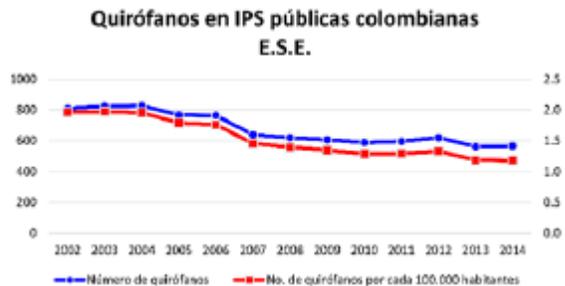


Figura 1. Disponibilidad histórica del número de quirófanos en las IPS

Públicas colombianas E.S.E. entre los años 2002 y 2014. En cuanto a la capacidad en quirófanos, parte de la capacidad perdida en las IPS estatales ha sido asumida por el sector privado. Según el REPS, el número total de quirófanos disponibles a Julio de 2015 en Colombia en IPS (jurídicas, privadas, públicas y mixtas) es de 2964 salas de quirófano.

En contraste con el número de quirófanos, en la Fig. 2 se observa un crecimiento en el número de camas de hospitalización en hospitales públicos, pero al calcular la disponibilidad por cada cien mil habitantes, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional estimado por el Departamento Nacional de Estadística de Colombia —DANE— [7], la proporción de camas realmente ha disminuido.



Figura 2. Disponibilidad histórica del número de camas de hospitalización en las IPS públicas colombianas E.S.E. entre los años 2002 y 2014

### III. HIPÓTESIS DINÁMICA

La variable de interés para la hipótesis dinámica en modo explicativo es la Capacidad, la cual está determinada por el número de quirófanos disponibles, el número de cirujanos especialistas y el número de camas de recuperación. En la Fig. 3 se presenta el diagrama causal de las variables que representan la situación problema de interés.

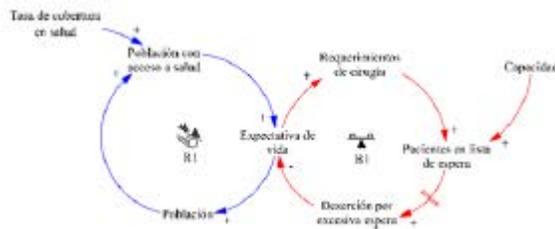


Figura 3. Diagrama causal y ciclos de realimentación.

La diferencia entre los Requerimientos de cirugía y la Capacidad del sistema de salud para atender dichos requerimientos quirúrgicos genera una brecha que se manifiesta en la existencia de Pacientes en listas de espera para cirugías electivas.

El ciclo R1 muestra el refuerzo de la variable Población con acceso a salud. Ésta, al incrementar su valor aumenta la Expectativa de vida de dicha población, lo que a su vez aumenta la Población general y esta incrementa la Población con acceso a salud al mantener constante la Tasa de cobertura en salud.

El ciclo B1 muestra la regulación de la variable Expectativa de vida, que al aumentar, genera más Requerimientos de cirugía, lo que a su vez aumenta los Pacientes en lista de espera al mantener constante la Capacidad de realización de cirugías y que después de un tiempo genera Deserción por excesiva espera para la realización de la cirugía requerida, lo cual lleva a una disminución de la Expectativa de vida.

El ciclo de refuerzo R1 crece a un ritmo mayor que la capacidad del sistema de salud colombiano para atender requerimientos quirúrgicos y, a pesar de estar contrarrestado por el ciclo de balance B1, genera tiempos y listas de espera.

Por lo anterior, los finalmente afectados son los pacientes que no reciben atención oportuna para su cirugía electiva o salen del sistema sin que se realice su intervención quirúrgica.

### IV. MODELO DE SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS

El problema contempla tres componentes: la población de pacientes que requieren cirugía, la capacidad de los recursos principales que intervienen en la atención de dichos pacientes por parte de las IPS de media y alta complejidad, y por último, el registro de los tiempos de espera y la longitud de la cola de pacientes en lista de espera para cirugía electiva.

La información de construcción del modelo se presenta en la Tabla IV (Anexo).

#### A. Población de pacientes

No todos los grupos de población requieren procedimientos quirúrgicos en la misma proporción, por lo que el modelo considera tres cohortes poblacionales, que se han asumido de acuerdo a los requerimientos de turnos quirúrgicos disponibles en estudios de asociaciones de IPS colombianas. [8].

Los adultos mayores de 60 años en adelante utilizan los servicios quirúrgicos con mayor frecuencia, grupo representado en el modelo de la Fig. 4 como Adultos mayores de 59 años. Le siguen los grupos quirúrgicos no pediátricos denominados Población entre 5 y 59 años. Por último, los procedimientos quirúrgicos que presentan menor frecuencia de cirugías son los grupos pediátricos entre 0 y 4 años, en el modelo denominados Primera infancia de 0 a 4 años. En la Fig. 5 se presentan los porcentajes de requerimientos de cirugías electivas según las cohortes poblacionales consideradas.

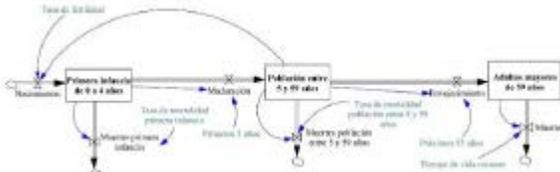


Figura 4. Diagrama de Forrester para el componente de población de pacientes, considerando las tres principales cohortes poblacionales de pacientes quirúrgicos

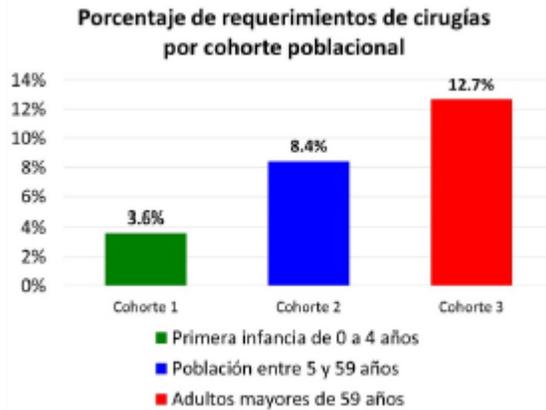


Figura 5. Porcentaje de los requerimientos de cirugías para cada una de las cohortes poblacionales consideradas

**B. Capacidad de recursos**

La capacidad del sistema de salud colombiano para atender los requerimientos de cirugías está restringido por la disponibilidad y capacidad de tres recursos principales: los quirófanos (o salas acondicionadas para intervenciones quirúrgicas), los médicos especialistas en áreas quirúrgicas (anestesiólogos y cirujanos de acuerdo con cada especialidad quirúrgica) y las camas hospitalarias (o camas acondicionadas para la recuperación de los pacientes quirúrgicos), ya sea que el paciente requiera o no hospitalización después de la intervención quirúrgica.

El componente de capacidad de recursos del modelo se presenta en la Fig. 6 y considera los tres recursos mencionados. Estos han sido parametrizados de acuerdo con la información disponible en fuentes gubernamentales y se denominan Quirófanos disponibles [9, 10], Cirujanos especialistas [3] y Camas [11].

Para éste componente, la capacidad de cada recurso se calcula por semana y se consideran 52 semanas al año. La capacidad de atención de todo el sistema depende del recurso que presente la menor capacidad de atención de pacientes quirúrgicos en un momento dado y se ha denominado Capacidad total semanal de realización de cirugías electivas.

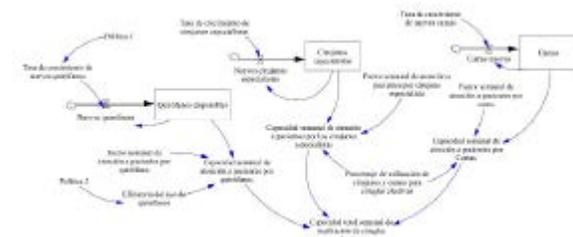


Figura 6. Diagrama de Forrester para el componente de capacidad de recursos para cirugías, considerando sólo los tres recursos principales.

**C. Listas y tiempos de espera**

El último componente corresponde al registro de los tiempos de espera y longitud de la cola de los pacientes en lista de espera para cirugía electiva que se presenta en la Fig. 7. Se han establecido las siguientes variables en el modelo:

**Pacientes en lista de espera para realización de cirugía:** corresponde a la variable de nivel que tiene como entrada la variable Entrada pacientes lista de espera y como salidas las variables Realización de cirugía y Deserción por espera excesiva.

**Media de solicitudes de turnos quirúrgicos:** depende del producto de los requerimientos de cirugías semanales de cada cohorte poblacional y se establece una media por cada cohorte.

**Realización de la cirugía:** esta variable de salida está restringida por la menor cantidad entre la Capacidad total semanal de realización de cirugías electivas y el nivel de los Pacientes en lista de espera para realización de cirugía.

**Deserción por espera excesiva:** los pacientes salen del sistema cuando el tiempo de espera de su respectiva intervención quirúrgica supere el Tiempo máximo de espera de cirugía que el paciente está dispuesto a esperar antes de buscar tratamientos alternativos u opciones particulares fuera de los regímenes subsidiado o contributivo del sistema de salud colombiano.

**Tiempo de espera para realización de cirugías en días:** esta variable monitorea los días que espera un paciente que requiera intervención quirúrgica y que no ha salido del sistema por la variable Deserción por espera excesiva.

**D. Políticas de mejoramiento**

En el presente modelo, se consideran dos políticas de mejoramiento del sistema de salud colombiano en el aspecto de tiempos de espera para cirugías electivas. Las dos políticas generan tres escenarios: sólo la

política 1, sólo la política 2 y la aplicación conjunta de las políticas 1 y 2.

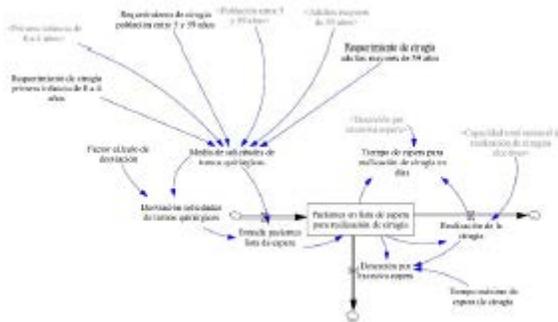


Figura 7. Diagrama de Forrester para el componente de pacientes en lista de espera para realización de cirugía

**Política 1:** incrementar en 4.3% la Tasa de crecimiento de nuevos quirófanos a partir del primer año de corrido el modelo y por cinco años consecutivos. A partir del sexto año se mantiene la tasa de crecimiento de nuevos quirófanos en su valor actual.

**Política 2:** mejorar en un 9% la Eficiencia del uso de quirófanos. Para llevar a cabo esta política, se da un período de experimentación, prueba e implementación de cinco años, a partir del sexto año la Eficiencia del uso de quirófanos se incrementa en la tasa mencionada.

Aplicación simultánea de Políticas 1 y 2: se aplican conjuntamente Política 1 y Política 2 y se evalúa el efecto que tiene aplicarlas de forma simultánea, conservando los períodos de tiempo y tasas de crecimiento de cada una de ellas.

## V. RESULTADOS

Se presentan los resultados para cuatro posibles escenarios: Sin intervención, Política 1, Política 2 y Políticas 1 y 2. El escenario Sin intervención representa el estado actual del sistema. Los resultados se presentan en un lapso de tiempo de 20 años con periodos de análisis semanales.

Por medio del modelo desarrollado se evaluó el estado del sistema de salud colombiano para la atención de cirugías electivas, considerando las cohortes poblacionales, las restricciones de capacidad de los recursos y la demanda estimada de cirugías electivas para cada cohorte poblacional.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las variables de interés en cada uno de los cuatro escenarios considerados:

### A. Pacientes en lista de espera para realización de cirugía.

Los comportamientos de la variable Pacientes en lista de espera para realización de cirugía para cada uno de los escenarios se presentan en la Fig. 8. Para el escenario Sin intervención, la variable presenta una tendencia creciente que no presenta evidencia de estabilización en el corto plazo o mediano plazo. Para el escenario Políticas 1 y 2, el comportamiento de esta variable presenta un incremento en los primeros cinco años, luego se estabiliza por un período cercano a los tres años.

Posteriormente presenta un comportamiento decreciente a partir de la semana 416 al sobrepasar los primeros ocho años. En este escenario se evacuaron pacientes de la lista de espera a mayor velocidad, de tal forma que al finalizar los 20 años simulados en el modelo, el número de pacientes en lista de espera llegó a tener una disminución del 85.77% al compararlo con el resultado en 20 años del escenario Sin intervención.

En la Tabla I se presenta la cantidad promedio semanal de pacientes en lista de espera para cirugía, que al aplicar la Política 1 y 2 disminuyó con relación al escenario Sin intervención en un 12.21%.

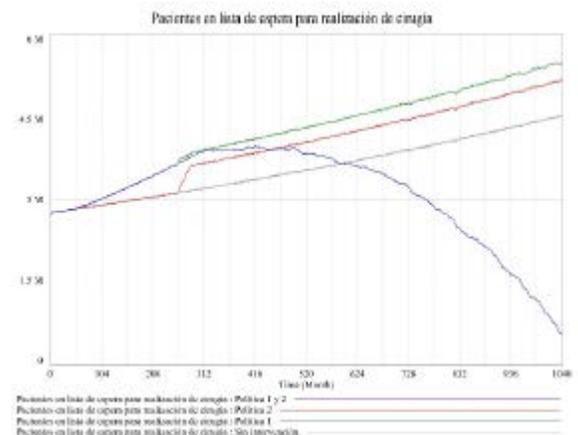


Figura 8. Comportamiento del Número de pacientes en lista de espera para la realización de cirugía con la Política 1, la Política 2 y su aplicación simultánea

TABLA I. PROMEDIO SEMANAL DE LA VARIABLE DE NIVEL PACIENTES EN LISTA DE ESPERA PARA REALIZACIÓN DE CIRUGÍA PARA CADA UNO DE LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS

	PROMEDIO SEMANAL DE PACIENTES EN LISTA DE ESPERA PARA REALIZACIÓN DE CIRUGÍA
Política 1 y 2	3.132.236
Política 2	3.928.369
Política 1	4.271.846
Sin intervención	3.567.822

### B. Tiempo de espera para realización de cirugía en días.

El comportamiento de los escenarios para esta variable es similar al caso de la variable anterior. En la Fig. 9 se muestra que el único escenario que logra disminuir el Tiempo de espera para realización de cirugía en días es Política 1 y 2. El estado actual (Sin intervención) y las otras dos políticas (Política 1 y Política 2) por separado no reflejan una mejora en la disminución de la variable Tiempo de espera para realización de cirugía en días.

### C. Deserción por excesiva espera

El comportamiento de la variable Deserción por excesiva espera, que se muestra en la Fig. 10, presenta excesiva variabilidad que dificulta su análisis gráfico, por lo que, en la Fig. 11, se simplifica el comportamiento de la variable al examinar la línea de tendencia calculada con Promedio Móvil de 52 semanas.

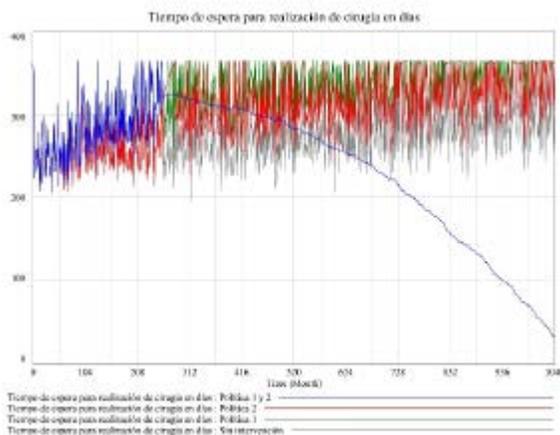


Figura 9. Comportamiento del Tiempo de espera de los pacientes que requieren una cirugía electiva en días con la Política 1, la Política 2 y su aplicación simultánea

En la Fig. 11 se observa que el escenario que mejor disminuye la deserción por excesiva espera para la realización de cirugía es el Política 1 y 2, seguido por el escenario Política 1. De los datos de la simulación se

determinó que el escenario Política 1 y 2 lleva la deserción a cero a partir de la semana 260, y el escenario Política 1 lo logra finalizando los 20 años. El resultado de aplicar las Políticas 1 y 2 simultáneamente es el único que beneficia a los pacientes al evitar que se supere el Tiempo máximo de espera de cirugía y se presente deserción.

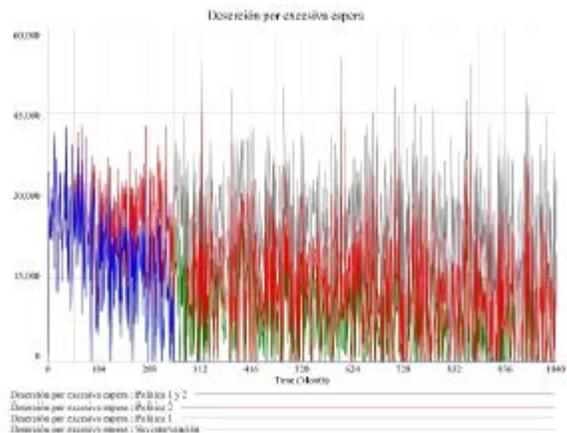


Figura 10. Comportamiento de la deserción por la máxima tolerancia a la espera para realización de la cirugía electiva por parte de los pacientes que la requieren.



Figura 11. Comportamiento de la línea de tendencia calculada con Promedio Móvil de 52 semanas para la deserción por la máxima tolerancia a la espera.

En la Tabla II se observan la cantidad total y el promedio anual de pacientes que requerían cirugía pero desertaron por excesiva espera. El porcentaje que disminuye el escenario Política 1 y 2 con respecto al escenario Sin intervención es de 80,72% para un horizonte de tiempo de 20 años.

TABLA II. ESTADO DE LA VARIABLE DESERCIÓN POR EXCESIVA ESPERA PARA EL HORIZONTE DE 20 AÑOS

	CANTIDAD TOTAL DE PACIENTES QUE REQUERÍAN CIRUGÍA PERO DESERTARON	PROMEDIO ANUAL DE PACIENTES QUE REQUERÍAN CIRUGÍA PERO DESERTARON
Política 1 y 2	4.741.527	236.848
Política 2	16.561.177	827.263
Política 1	9.081.097	453.618
Sin intervención	24.597.349	1.228.686

TABLA III. DATOS DE LA VARIABLE REALIZACIÓN DE LA CIRUGÍA

	CANTIDAD TOTAL DE PACIENTES A LOS QUE SE REALIZÓ CIRUGÍA	CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE REALIZACIÓN DE CIRUGÍAS
Política 1 y 2	94.696.421	4.730.272
Política 2	78.407.214	3.916.594
Política 1	85.468.003	4.269.295
Sin intervención	70.953.770	3.544.280

**D. Realización de la cirugía**

La Fig. 12 ilustra el incremento de la variable Realización de la cirugía para los escenarios propuestos, al incrementar la capacidad total de realización de cirugías electivas. Nuevamente, el escenario con mejores resultados es Política 1 y 2, seguido por Política 1, Política 2 y Sin intervención.

La Tabla III presenta la cantidad total y el promedio anual de pacientes a los que se realizó cirugía. El escenario Política 1 y 2 presenta la posibilidad incrementar la atención en 23.742.651 pacientes con respecto al estado actual (Sin intervención) en el horizonte de tiempo de 20 años considerado en el modelo.

En la Fig. 13 se presenta la comparación de capacidad semanal de atención a pacientes por cada uno de los recursos principales considerados. Durante las 1040 semanas de simulación, el recurso que restringe la capacidad es la cantidad de quirófanos disponibles. Le sigue la disponibilidad de médicos cirujanos especialistas, que está en crecimiento, por lo que luego sobrepasa en capacidad a la disponibilidad de camas hospitalarias.



Figura 13. Comportamiento de la capacidad semanal de realización de cirugías electivas por recurso

**VI. DISCUSIÓN**

El comportamiento de los escenarios Política 1 y Política 2, refleja un incremento con respecto al estado actual Sin intervención. Incremento que se debe que el aumento en los factores de capacidad del sistema, el cual genera menor deserción por tiempo de espera excesivo, pero la nueva capacidad no logra ir a un ritmo igual o mayor que la entrada de nuevos pacientes y la menor deserción de los que ya están en espera, por lo tanto la lista de personas que van a recibir el procedimiento quirúrgico aumenta, pero no tiende a estabilizarse con la Política 1 o Política 2 de forma independiente.

El comportamiento de la variable, Pacientes en lista de espera para realización de cirugía presentada en la Fig. 8 para los escenarios Política 1 y Política 2, refleja un incremento con respecto al estado actual Sin intervención. Incremento que se debe que el aumento en los factores de capacidad del sistema, el cual genera menor deserción de pacientes por tiempo de espera excesivo, pero la nueva capacidad no logra ir a un ritmo igual o mayor al de la entrada de nuevos pacientes junto con los que se encuentran en espera, por lo tanto la lista

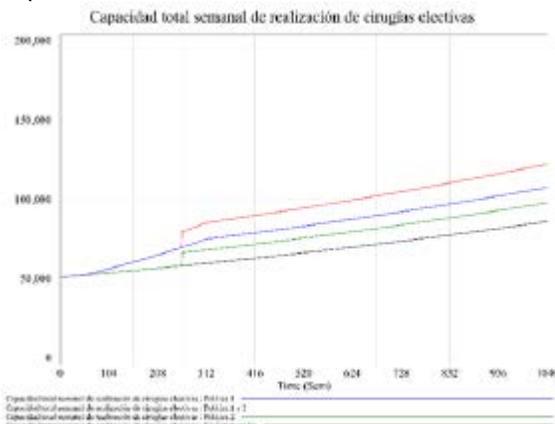


Figura 12. Comportamiento de la realización de cirugías electivas para las políticas estudiadas

de personas que van a recibir el procedimiento quirúrgico aumenta pero no tiende a estabilizarse con la aplicación de la Política 1 o Política 2 de forma independiente.

La variable Tiempo de espera para realización de cirugía en días presentada en la Fig. 9 debe su comportamiento a la combinación entre las deserciones de pacientes del sistema (pacientes que al cancelar el turno quirúrgico liberan temporalmente el sistema) y la entrada de nuevos pacientes a la lista de espera. Como la entrada de pacientes sigue siendo mayor a la atención de pacientes, en los escenarios de Sin intervención, Política 1 y Política 2, se presenta las fluctuaciones visualizadas debido a la dinámica del efecto mencionado.

Se incluyó la variable Deserción por excesiva espera para acercar el comportamiento del modelo a la realidad, por razones de oportuna realización de la cirugía. Si una cirugía no se realiza en un tiempo adecuado puede agravarse el problema quirúrgico del paciente.

## VII. CONCLUSIONES

La cantidad de pacientes que requieren cirugía electiva en Colombia irá aumentando, cálculo basado en el crecimiento de la población, el aumento en la expectativa de vida y las tasas de requerimientos de cirugías presentadas a las IPS colombianas. Con las condiciones actuales de capacidad del sistema de salud colombiano también aumentarán los pacientes en lista de espera para intervención quirúrgica electiva y la cantidad de pacientes insatisfechos que abandonarán el sistema, antes de la realización de su respectiva intervención por exceder el tiempo máximo de espera. Con el modelo presentado pueden reducirse las dos últimas variables en un 12,21% y 80,72%, respectivamente, con las condiciones del escenario que aplica simultáneamente las Políticas 1 y 2 propuestas.

Al considerar los tres principales recursos de interés (número de quirófanos, número de camas hospitalarias y disponibilidad de cirujanos especialistas), la capacidad de atención por quirófano (salas acondicionadas para intervenciones quirúrgicas) es el recurso que más restringe la capacidad de atención quirúrgica. Por lo tanto, independientemente de la aplicación de las políticas propuestas, los esfuerzos para incrementar la capacidad de atención de pacientes quirúrgicos deben

estar orientados a incrementar el número de quirófanos disponibles.

No se observa coherencia en los tiempos de espera en días que se encontraron al aplicar el modelo y los reportados en la Circular Única a la Superintendencia de Salud por parte de las IPS colombianas. Los tiempos de espera reportados en los años 2011 y 2012, siguen siendo significativamente bajos con respecto a los reportados por otros países con sistemas de salud más desarrollados y los estimados por el modelo.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Salud y Protección Social, "Afilaciones a Salud," 2015. [Online]. Available: [http://www.sispro.gov.co/\\_layouts/15/xlviewer.aspx?id=/Construya](http://www.sispro.gov.co/_layouts/15/xlviewer.aspx?id=/Construya) su Consulta/AseguramientoPowerPivot\_Ampliado.xlsx. [Accessed 14 08 2015].
- [2] Ministerio de Salud y Protección Social, "Gestión de Hospitales Públicos (SIHO)," 2015. [Online]. Available: <http://prestadores.minsalud.gov.co/siho/>. [Accessed 01 07 2015].
- [3] J. Amaya, A. Beltrán, D. Chavarro, G. Romero, S. Puerto, F. Ruiz, M. Vásquez and M. Matallana, "Estudio de disponibilidad y distribución de la oferta de médicos especialistas, en servicios de alta y mediana complejidad en Colombia," 2013.[Online]. Available: [https://www.minsalud.gov.co/salud/Documents/Observatorio\\_Talento\\_Humano\\_en\\_Salud/DisponibilidadDistribuci%C3%B3nMdEspecialistasCendex.pdf](https://www.minsalud.gov.co/salud/Documents/Observatorio_Talento_Humano_en_Salud/DisponibilidadDistribuci%C3%B3nMdEspecialistasCendex.pdf). [Accessed 14 08 2015].
- [4] L. Siciliani, V. Moran and M. Borowitz, "Measuring and Comparing Health Care Waiting Times in OECD Countries," OECD Health Working Papers, no. 67, p. 41, 2013.
- [5] Superintendencia Nacional de Salud (Supersalud), "Seguimiento Reporte Indicadores Circular Única Corte Semestre II 2.011," 2012. [Online]. Available: [http://www.supersalud.gov.co/supersalud/LinkClick.aspx?fileticket=N\\_4PD5cVNIMg=](http://www.supersalud.gov.co/supersalud/LinkClick.aspx?fileticket=N_4PD5cVNIMg=). [Accessed 01 07 2015].
- [6] Superintendencia Nacional de Salud (Supersalud), "Informe del análisis realizado a los Indicadores de Calidad reportados por las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud con corte a Junio de 2012, dentro del Sistema de Monitoreo, Alertas Tempranas y Seguimiento Integral Permanente de la Superinten," 2012. [Online]. Available: [http://www.supersalud.gov.co/supersalud/LinkClick.aspx?fileticket=N\\_yRm/8XRGpw%3D](http://www.supersalud.gov.co/supersalud/LinkClick.aspx?fileticket=N_yRm/8XRGpw%3D). [Accessed 01 07 2015].

[7] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Proyecciones Nacionales y Departamentales de Población 2005-2020, Estudios Postcensales No. 7," 2009. [Online]. Available: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06\\_20/7Proyecciones\\_poblacion.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/7Proyecciones_poblacion.pdf). [Accessed 01 07 2015].

[8] Asociación Colombiana de Empresas de Medicina Integral (Acemi), "Cifras e indicadores del Sistema de Salud," 2013. [Online]. Available: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IN\\_EC/ACEMI/salude\\_en\\_cifras-2013.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IN_EC/ACEMI/salude_en_cifras-2013.pdf). [Accessed 13 08 2015].

[9] Ministerio de Salud y Protección Social, "Indicadores Basicos 2011," 2012. [Online]. Available: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/Indicadores\\_basicos\\_2011.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/Indicadores_basicos_2011.pdf). [Accessed 2015 08 14].

[10] Ministerio de Salud y Protección Social, "Indicadores Básicos 2012," 2013. [Online]. Available: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/ibs\\_2012.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/ibs_2012.pdf). [Accessed 14 08 2015].

[11] Ministerio de Salud y Protección Social, "Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud (REPS)," 2015. [Online]. Available: <http://prestadores.minsalud.gov.co/habilitacion/>. [Accessed 11 08 2015].

[12] M. Berajaran, "Evaluación cuantitativa de la eficiencia en las salas de cirugía," 2011. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcci/v26n4/v26n4a5>. [Accessed 05 06 2015].

[13] Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, "Indicadores de ciencia y tecnología 2011," 2011. [Online]. Available: [http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/pdf/investigaciones/libro\\_indicadores\\_OCyT-2011.pdf](http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/pdf/investigaciones/libro_indicadores_OCyT-2011.pdf). [Accessed 05 06 2015].

ANEXO

TABLA IV. INFORMACIÓN DE VARIABLES DEL MODELO

Nombre Variable	Valor	Unidad	Formula	Fuente
Primera infancia de 0 a 4 años	4.321.077	Personas	Nacimientos-Maduración-Muertes primera infancia	Calculos autores [7]
Población entre 5 y 59 años	38.548.896	Personas	Maduración-Envejecimiento-Muertes población entre 5 y 59 años	Calculos autores [7]
Adultos mayores de 59 años	5.443.647	Personas	Envejecimiento-Muertes	Calculos autores [7]
Tasa de fertilidad	0,0411143		Calculos autores	[7]
Tasa de mortalidad primera infancia	0,0053242		Calculos autores	[7]
Tasa de mortalidad población entre 5 y 59 años	0,0103006		Calculos autores	[7]
Requerimiento de cirugía primera infancia de 0 a 4 años	0,035948		Calculo autores	[8]
Requerimiento de cirugía población entre 5 y 59 años	0,084375		Calculo autores	[8]
Requerimiento de cirugía adultos mayores de 59 años	0,126645		Calculo autores	[8]
Pacientes en lista de espera para realización de cirugía	2.753.514	Pacientes	Entrada pacientes lista de espera-(Realización de la cirugía+Deserción por excesiva espera)	Supuesto 12 semanas
Deserción por excesiva espera		Pacientes	Pacientes en lista de espera para realización de cirugía * ABS(MIN(Tiempo máximo de espera de cirugía-(Pacientes en lista de espera para realización de cirugía)/(Realización de la cirugía), 0 ))/(Pacientes en lista de espera para realización de cirugía/(Realización de la cirugía))	
Tiempo máximo de espera de cirugía	52	Semanas	Supuesto por los autores	
Realización de la cirugía		Pacientes	MIN(Capacidad total semanal de realización de cirugías electivas, Pacientes en lista de espera para realización de cirugía)	
Tiempo de espera para realización de cirugía en días		Días	7*(Pacientes en lista de espera para realización de cirugía)/(Realización de la cirugía+Deserción por excesiva espera)	
Tasa de crecimiento de nuevos quirofanos	0,02478		Calculo autores	[9], [10], [11]
Quirofanos disponibles	2.941,00	Quirofanos		[11]
Factor semanal de atención a pacientes por quirofano	26,088		Calculo autores	[12], [3]
Eficiencia del uso de quirofanos	0,6880	Porcentaje	Valor de referencia asumido de [12]	[12]
Capacidad semanal de atención a pacientes por quirofanos		Pacientes	Eficiencia del uso de quirofanos*Factor semanal de atención a pacientes por quirofano*Quirofanos disponibles	
Nombre Variable	Valor	Unidad	Formula	Fuente
Tasa de crecimiento de cirujanos especialistas	0,05351		Calculo autores	[3]
Cirujanos especialistas	8.471,34	Cirujanos	Calculo autores	[3]

Factor semanal de atención a pacientes por cirujano especialista	22,86		Calculo autores	[3]
Capacidad semanal de atención a pacientes por los cirujanos especialistas		Pacientes	Cirujanos especialistas*Factor semanal de atención a pacientes por cirujano especialista*Porcentaje de utilización de cirujanos y camas para cirugías electivas	
Tasa de adquisición de camas	0,0231		Calculos autores	[13]
Camas	58.199	Camas		[11]
Factor semanal de atención a pacientes por cama	4,851		Calculo autores	[3]
Capacidad semanal de atención a pacientes por Camas		Pacientes	Camas*Factor semanal de atención a pacientes por cama*Porcentaje de utilización de cirujanos y camas para cirugías electivas	
Porcentaje de utilización de cirujanos y camas para cirugías electivas	0,661	Porcentaje	Calculo autores	[12]
Capacidad total semanal de realización de cirugías electivas		Pacientes	MIN(MIN(Capacidad semanal de atención a pacientes por Camas, Capacidad semanal de atención a pacientes por los cirujanos especialistas ), Capacidad semanal de atención a pacientes por quirófanos )	

completo de la Universidad Icesi, en la cual ocupó los cargos de Director del Programa de Ingeniería Industrial (1998-2003), Director de la Maestría en Ingeniería Industrial (2010-2012) y Director del Departamento de Ingeniería Industrial (2009-2013). Entre 1997 y 1998 se desempeñó como Director de Desarrollo Tecnológico del Centro de Productividad del Pacífico.



**VÍCTOR JAVIER ESCALLÓN SANTAMARÍA.**

En curso estudios de doctorado en Ingeniería - Énfasis en Ingeniería Industrial (Ph.D. Candidate), Universidad del Valle, con investigación doctoral en programación de quirófanos para cirugías electivas en instituciones hospitalarias de Alta-Complejidad. Magister en Ingeniería, M.Sc., Énfasis en Ingeniería Industrial, Universidad del Valle. Especialista en Gerencia de Producción, Universidad Icesi. Ingeniero en Electrónica, Universidad del Cauca. Profesor del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi desde 1996, Tiempo Completo desde 2003. Diez años de experiencia como Gerente de Producción.



**LEONARDO RODRÍGUEZ PINEDA.**

Ingeniero Industrial de la Universidad ICESI. Con contrato de medio tiempo por prestación de servicios como Asistente de Investigación en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Icesi.



**LEONARDO RIVERA.** Ph.D. in Industrial & Systems Engineering, Virginia Tech. Blacksburg, Virginia. M.S.I.E., Georgia Tech. Atlanta. Ingeniero Industrial. Universidad del Valle. Profesor Asistente de la Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle. Entre 1997 y 2013 se desempeñó como profesor de tiempo



innovation). An example is presented to demonstrate the capabilities of this framework (See Figure 2). It is an actual company that undertook some radical changes and its success has been very remarkable since then.

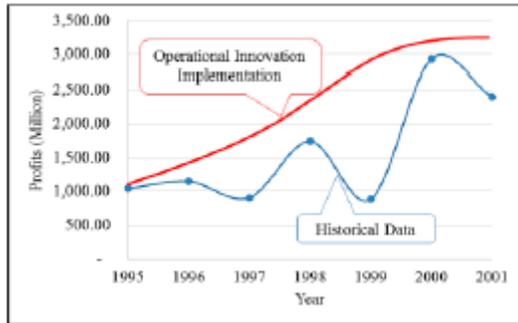


Figure 2. When to apply operational innovaton and its respective profits with SD vs Historical Data (Calibration) – Adapted from [3].

## II. SD - DES (HYBRIDS)

Hybrid simulation can be obtained by integrating system dynamics with discrete-event simulation models. System dynamics (SD) captures the financial, global economy, and other qualitative elements. On the other hand, discrete-event simulation (DES) can be utilized to model the discrete and stochastic elements such as a factory floor. Therefore, the integration of SD and the DES models allows the simulation of different hierarchical levels of the enterprise.

The models can be integrated using sophisticated mechanisms from information theory and/or methodologies derived from parallel/distributed discrete event simulation. For example, from information theory we can use the Nyquist Theorem [4] in order to build the sampling functions to capture variables at higher levels of abstraction. On the other hand, parallel/distributed DES synchronization schemes can be used to integrate the different models. Figure 3 provides a depiction of the synchronization mechanism of time buckets. This is a very simple approach which can integrate and synchronize different types of wall and simulation clocks.

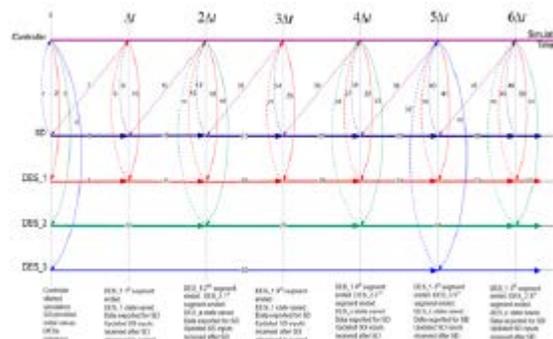


Figure 3. Time buckets – Adapted and modified from [5].

Figure 4 depicts a roadmap in which the review of current practices in using simulation approaches has indicated the potentials of integrating SD and DES. As explained by [6] “The size of the simulation model suggested following a modular structure. Modules should be formally described for better model management and communication among modelers. This integrated formalism is proposed for that purpose by using information theory or parallel/distributed synchronization schemes.” And since we are combining two different simulation paradigms, it should also be viewed from the perspective of a distributed arrangement (as in parallel/distributed DES). Specifically, the synchronization mechanism is proposed to coordinate and synchronize the interactions among the SD and DES simulation modules. The controller is the main unit in the simulation method (that can be built in a server). The simulation controller (i.e., centralized) manages the integration, and implements the synchronization.

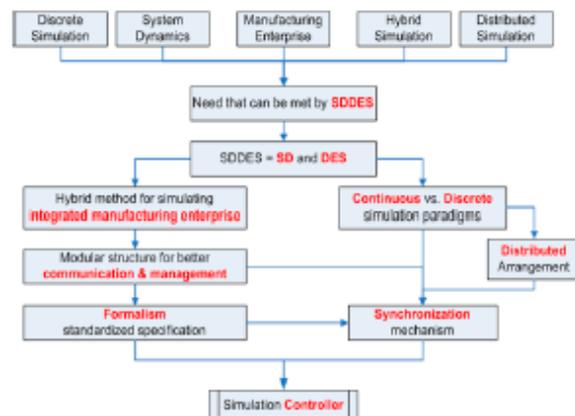


Figure 4: Road map toward hybrids of SD and DES – Adapted from [6].

We applied an extension of this model to an actual value chain of a corporation in the United States (due to confidentiality the name of the company has been

omitted and some of the information has been disguised). The manufacturing division manufactures existing products; the second division (i.e., service division) provides maintenance, repair, and overhaul services for existing products and generates new services when needed. The top management of this corporation had three different alternatives to make a decision [1]:

1. **Alternative A:** To have both divisions under the enterprise and in USA.
2. **Alternative B:** To outsource the majority of the manufacturing to Southeast Asia (but to keep the core competency of design and new product and service development in USA) and keep the second division under the corporation in USA.
3. **Alternative C:** To outsource the majority of the manufacturing to East Asia (e.g., China - but to keep final manufacturing performance testing in USA and the core competencies of design and new product and service development in house) and keep the second division under the organization.

For top management of this organization, their evaluation of alternatives depend on three important factors: profitability, customer satisfaction, and responsiveness. The DES models estimates product and services costs while other considerations for new product and service development costs and general administration costs are handled in the SD model. "Customer satisfaction is measured using different dimensions based on returns, requests for proposals, service levels, and retention of customers" as explained in [1]. Responsiveness is measured as the total replenishment (lead) time needed to satisfy any order quantity placed at the distributors' side [1]. An analysis of the hybrid modeling results were provided to top management to support their scenario-planning sessions under the different conditions.

One SD model was used to capture the customer relationships management, demand forecasting, performance and quality assessment, and the financial metrics. Two DES models were developed to represent the manufacturing and service divisions. Figure 5 depicts the flow of information and the models developed. Figure 6 shows parts of the SD model developed. Figures 7, 8, and 9 demonstrate the results for the different alternatives. The decision to be made by the top executives required the ranking of the different performance measures (i.e., what is more important for the corporation – profits?). Corporations utilize ranking

methodologies in order to make a final decision. Internal politics and the power/mental models are sometimes more prevalent than the operational/business models. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a good methodology to be used in these instances [1].

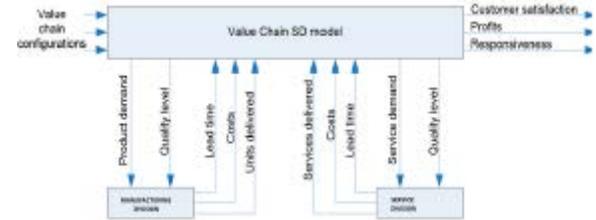


Figure 5. Hybrid diagram – two DES models and one single SD on top.

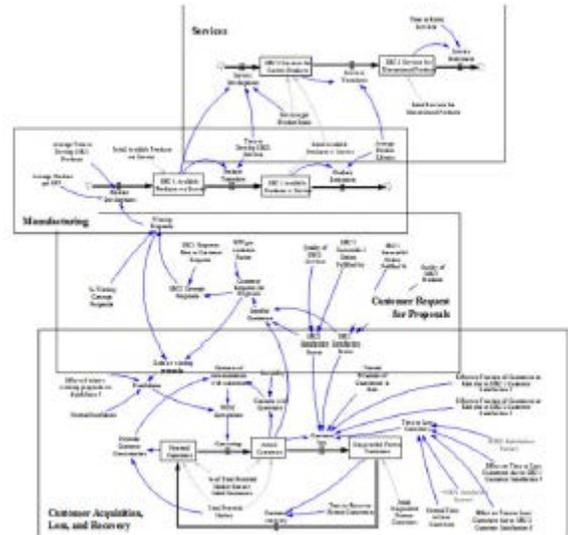


Figure 6. SD model built for the higher hierarchical level.

The results are very clear for the hybrid model. Figures 7, 8, and 9 show the results for the different alternatives.



Figure 7. Profits for the different alternatives.



Figure 8. Customer satisfaction for the different alternatives.

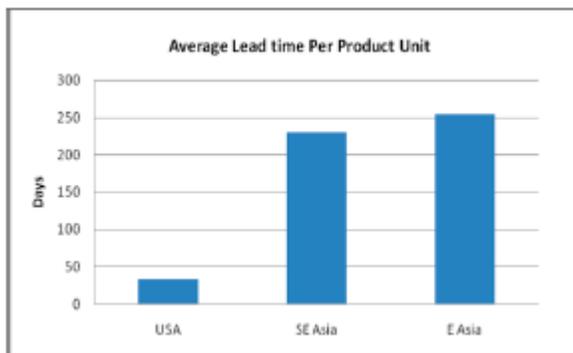


Figure 9. Lead times for the different alternatives.

### III. SD - REAL OPTIONS (INTEGRATION)

Other types of hybrid systems are possible. For example, we can integrate SD with real options as demonstrated by [2]. SD will perform the analytical modeling. The output of the financial terms from the SD can be the input to real options. Real options provide a revised net present value (NPV). SD can model the interactions with the competition and measure the risk. Then, we can utilize that measure of risk (e.g., volatility) and cash flows in order to do the respective calculations using real options and obtain a revised NPV.

We have done research in this area and the fundamental equations and stock variables are explained in Table 1 (i.e., stocks variables define the state of the system). We will have to build the SD model using these variables as the core of the structure. The SD modeling efforts will evolve and capture other elements required to represent the structure of the business environment. The complexity of the modeling effort will be guided by the different levels of details required. Multiple-resolution modeling (MRM) is possible here based on the hierarchies displayed by the system (or system of systems). We would like to remind the reader that there are different MRM approaches which can be used with

SD. On the other hand, the modeling of the competition can be described by using Lotka-Volterra equations. However, Lotka-Volterra equations can also be implemented using SD as explained by several researchers [7].

**Table 1. Stock variables and the respective equations [3].**

The template (i.e., the “basic”) SD model is shown in Figure 10. The Lotka-Volterra component is also implemented using SD.

Figure 10. Diagram of the template model using Vensim (<http://vensim.com/vensim-software/>) – Adapted from [3].

As explained by Onkham [3] “The cash flow and volatility value from the previous step are used to estimate the return on investment using Binomial Lattice method. The rationale of using this method is that it offers a better way for estimating the ROI of the project in both Optimistic (upside potential) and Pessimistic (downside risk), and in different strategic decisions addressing the volatility of the underlying project.”

The previous method can be applied to very sophisticated value chain environments with an emphasis on operational innovation. For example, we can apply to model the situation of UPS and FEDEX in the late 1990’s and what kind of operational changes were required by UPS in order to gain market share and increase profitability (See Figure 11).

Figure 11. Diagram of the UPS vs FEDEX model using Vensim (<http://vensim.com/vensim-software/>) – Adapted from [3].

### IV. CONCLUSIONS

SD and DES, when interfaced in a distributed-simulation-like arrangement and synchronized in a way that maintains the integrity of each paradigm, can provide powerful tools to build the desirable simulation models of the modern enterprise. The synchronization mechanism is the key for this integration.

SD can be integrated with other methodologies such as real options. SD can provide the cash flows, structural dynamics of the competition and their interactions, and the volatility (risk). Real options can provide a revised NPV. This is superior to the current NPV methods and the results from traditional scenario planning exercises.

## ACKNOWLEDGEMENTS

I have graduated 25 Doctoral and 45 MS students as major advisor and co-advisor... For this paper, I would like to give thanks to the following outstanding individuals:

1. Dr. Magdy Helal – An expert in hybrid simulation and manufacturing.
2. Dr. Wilawan Onkham – An expert in the integration of system dynamics and real options.
3. Dr. Alfonso Sarmiento – An expert in the details of system dynamics.

## REFERENCES

- [1] L. Rabelo, H. Eskandari, T. Shaalan, and M. Helal, "Value chain analysis using hybrid simulation and AHP", *International Journal of Production Economics*, pp. 536-547, 2007.
- [2] W. Onkham, L. Rabelo, and H. Yazici, "A Framework for Operational Innovation Selection Using Real Option Dynamic Decision", in *Proceedings of the Institute of Systems and Engineering Research Conference*, Institute of Industrial Engineers (IIE), Montreal, Quebec, Canada, May 30-June 2, 2014.
- [3] W. Onkham, A Real Option Dynamic Decision (RODD) Framework for Operational Innovations, Ph.D. Dissertation – University of Central Florida, Major Advisor: Dr. Luis Rabelo, 2013.
- [4] L. Rabelo, M. Helal, A. Jones, and H. Min, "Enterprise simulation: a hybrid system approach", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, pp. 498-508, 2005.
- [5] M. Helal, L. Rabelo, J. Sepúlveda, and A. Jones, "A methodology for integrating and synchronizing the system dynamics and discrete event simulation paradigms", in *Proceedings of the 25th international conference of the system dynamics society*, 2007.
- [6] M. Helal, A Hybrid System Dynamics-Discrete Event Simulation Approach to Simulating the Manufacturing Enterprise, Ph.D. Dissertation – University of Central Florida, Major Advisor: Dr. Luis Rabelo, 2008.
- [7] H. Unver, A comparative study of Lotka-Volterra and system dynamics models for simulation of technology industry dynamics, Master of Science in Engineering and Management, Massachusetts Institute of Technology, 2008.

## AUTOR



**LUIS RABELO** is currently an Associate Professor with the Department of Industrial Engineering and Management Systems at the University of Central Florida. He holds dual degrees in Electrical and Mechanical Engineering from the Technological University of Panama and Master's degrees from the Florida Institute of Technology in Electrical Engineering, the University of Missouri-Rolla in Engineering Management, and a Joint-Master degree in Systems Engineering & Management from the Massachusetts Institute of Technology (MIT). He received his Ph.D. in Engineering Management from the University of Missouri-Rolla, where he also did Post-Doctoral work in Nuclear Engineering. He has authored over 260 publications (one of which was selected as the best article from 2,677 research articles published by during 2005 and resulted in his winning (1) the Society of Automotive Engineers, Arch T. Colwell Merit Award and (2) the Emerald Literati Award). He holds three international patents being utilized in the Aerospace Industry, and as their advisor graduated 25 Doctoral and 45 Master students. His experience includes teaching and/or research/fellowship positions at Ohio University, BF Goodrich Aerospace, Honeywell Laboratories, the National Institute of Standards and Technology, NASA, and MIT.



## 82. MODELAMIENTO DINÁMICO DEL PROCESO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO DE MANGO DE LAZO CERRADO

### DYNAMIC PROCESS MODELING PRODUCT DEVELOPMENT MANGO'S SUPPLY CHAIN OF CLOSED LOOP

#### ANGELICA MARTÍNEZ RINCÓN

Ingeniería Industrial - Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Líder semillero FENIX. Bogotá, Colombia.  
amarti34@uniminuto.edu.co

#### MARIA ALEJANDRA MARTÍNEZ

Estudiante de Ingeniería de Mercados  
Universidad Piloto de Colombia - Bogotá, Colombia  
aglejita@hotmail.com

#### MILTON MAURICIO HERRERA RAMÍREZ

Universidad Piloto de Colombia  
Líder Grupo de Investigación Innovación y Gestión IG.  
milton-herrera@upc.edu.co

#### ABSTRACT

One representative economic sector to Colombia is agricultural land which has available and sufficient to reach economic growth. In this study the effect of integrating the waste generated by mango producers and manufacturers of juices and jams in the value chain is shown. Using waste to developing sustainable products in the supply chain requires an analysis to identify the economic and productive benefits.

A pattern in the methodology of system dynamics simulation showing the behavior of sustainable products in a supply chain closed loop processing of fruits (Mango) was performed.

**KEYWORDS:** Design, Agricultural Sector, System Dynamics, Supply Chain.

#### I. INTRODUCCIÓN

Las dinámicas tecnológicas, ambientales y económicas presentan relaciones complejas que requieren un análisis alrededor de la sostenibilidad de los recursos. En esta medida, las relaciones de las compañías públicas y privadas necesitan fundamentarse en la cooperación que permita la sostenibilidad de los recursos empleados. La cooperación entre los actores del sistema es indispensable en los procesos que conducen a la sostenibilidad y la integración orientada al crecimiento económico y social.

Dentro de un estudio realizado por la FAO (Food and agricultural organization) se encontró que el 98% de la producción de este fruto es realizada por países en desarrollo mientras que el 2% restante lo aportan los países desarrollados (Departamento Económico y Social, 2004), además el mango cuenta con 63 especies que han sido cultivadas y distribuidas en diferentes zonas geográficas donde podemos encontrar diferentes condiciones climáticas que permiten desarrollar una genética que afecta desde el tamaño hasta el color. Cada parte del mango desde sus hojas hasta la raíz es usada en diferentes países desde ser involucrados, en cuanto al árbol en

países como Bangladesh se fomentó su siembra no solo por el fruto sino por la resistencia de la corteza y la madera que podía ser producida a partir de ella y partes como la semilla han sido incluidas dentro de la agricultura como alimento para el ganado al igual que sus hojas, también se encontró que por creencias y tradiciones en África los árboles de mango son llamados "árboles de las palabras" gracias a la sombra que dan es posible tener conversaciones sin problema de los rayos del sol (Saúco, 2009) o en India donde el fruto ha sido objeto de veneración debido a su presencia en las sagradas escrituras (Hidalgo, 2012). Es importante decir que además de las cualidades mencionadas el árbol de mango es resistente a sequías lo que le ha permitido llegar a ser usada como una planta ornamental o planta de jardín que no solo resalta por su aspecto sino por su fruto lo que la ha hecho popular en el ámbito de importación y exportación del mismo en diferentes formas como en pulpa o en semilla. El mango es el tercer fruto de mayor producción e importación dentro de las frutas tropicales y el quinto dentro de los frutos en general (Saúco, 2009) donde encontramos que los compradores más interesados en importar frutas tropicales son la CE (Comisión Europea), Estados Unidos, Japón, Canadá y China, quienes tenían preferencia por la piña se reveló en un pronóstico realizado por la FAO donde se veía un crecimiento de 9.7% del mango en comparación a las otras frutas tropicales (piña, palta, papaya).

A partir del pronóstico realizado por la FAO Comexperu el gremio privado que agrupa a las principales empresas vinculadas al comercio exterior de Perú identificó los principales países en cuanto a producción y rendimiento como se ve en la Figura 1, donde sabemos que el rendimiento contempla todos los índices de naturaleza económica (Valor del producto, costo de producción, entre otros), en cuanto a la producción se tiene en cuenta la edad de los árboles donde según el FONAIAP (Fondo nacional de investigaciones agropecuarias) el ciclo de vida está ligado tanto con la producción como con el rendimiento en donde tenemos que entre los 2 a 8 años de edad se encuentra en su periodo de crecimiento y se caracteriza gracias al incremento tanto de los rendimientos como tal de la planta como por un incremento elevado de su copa, seguido a este entre los 8 y los 15 años de edad en su periodo de plena producción alcanza su máxima capacidad de producción finalmente a partir de los 18 años la planta entra en su periodo de producción decreciente donde el crecimiento de la copa del árbol deja de ser proporcional con la producción.

Dentro de la agricultura el factor ambiental resulta un punto clave a tratar dentro de la cadena de suministros que tiene cualquier actividad dentro de este sector y es aquí cuando se encuentra en concepto de "sostenibilidad".

Cuando hablamos de sostenibilidad nuestra prioridad es la preservación del medio ambiente como la posible renovación del mismo, sin embargo, si tenemos un enfoque empresarial no podemos dejar de lado un retorno monetario rentable para continuar ejerciendo dicha actividad. Basado en esto desde el enfoque de dinámica de sistemas se han desarrollado varios estudios desde diferentes perspectivas como lo son la económica, social, medio ambiente, gubernamental, tecnología. Donde particularmente se analiza a través de una simulación, la viabilidad, los efectos o consecuencias encontradas al tomar una decisión o implementar una nueva práctica o procesos dentro de un sistema, llegados a este punto es necesario considerar como se plantea una problemática dentro de una cadena de suministros (Sterman J. D., 2000).

## A. SOSTENIBILIDAD Y DINAMICA DE SISTEMAS

El desarrollo sostenible puede presentar varios enfoques, sin embargo el epicentro que se argumenta en el estudio de la sostenibilidad se encuentra en la humanidad y su relación en equilibrio con el entorno. Las dimensiones sociales, económicas y medio ambientales son retomadas en el diseño de modelos de Dinámica de Sistemas en el tema de la sostenibilidad (Di Giulio, Grasso, Migliavacca, & Vaglio, 2004). Sin embargo, los aspectos de sostenibilidad se encuentran relacionados con las políticas fiscales de una nación (Ansah, 2010). Estas regulan el comportamiento del sistema, pero deben derivar de una democracia participativa, por ende de políticas colaborativas entre los actores del sistema. En este sentido, el factor social de envejecimiento de la población es relevante en la sostenibilidad financiera de las instituciones de una nación (Yavas & Gizem, 2012) y (Radianti, 2004). Por tanto, el diseño de políticas en varias dimensiones sociales, económicas y ambientales han sido abordadas a través de un fundamento de desarrollo humano sostenible.

Por otra parte, la sostenibilidad ambiental ha sido explorado en el campo energético (Pruyt, Jan, Caner, & Yucel, 2011), (Somogyvari, 2012), (Yucel, 2005), (Mohammed, Erik, & Anne-Marije, 2012) y (Mohammadi, Ali, Kave, & Alireza, 2010) debido al creciente consumo

y su importancia para la humanidad. Yucel (2005) aborda el tema de sostenibilidad de las naciones desde los recursos energéticos, ambientales (polución), económicos, mercado y poblacionales. En esta vía, el crecimiento tecnológico es un elemento importante que interviene en la dinámica social y económica de las naciones y que interactúa con las relaciones planteadas por Yucel (2005).

La dinámica de publicaciones realizadas desde el enfoque de dinámica de sistemas abordando la sostenibilidad como tema principal se observa en la Figura 2. Se identifica el incremento en el año 2012 en el número de publicaciones relacionadas con sostenibilidad. Los trabajos presentados abordan los aspectos de educación sostenible (Skaza, Kent, & Kristoffer, 2012) y (Sterman J., 2012), desarrollo de productos y mercados sostenibles (Bisilkas, Ivan, & Aurora, 2012) y (Sverdrup, Deniz, & Christer, 2012), calidad de vida (Beck & Krystyna, 2012) y finalmente, en el 2013 se reporta un trabajo que realiza un análisis de las políticas públicas sostenibles en el envejecimiento (Auping, Erik, & Thomas, 2013).

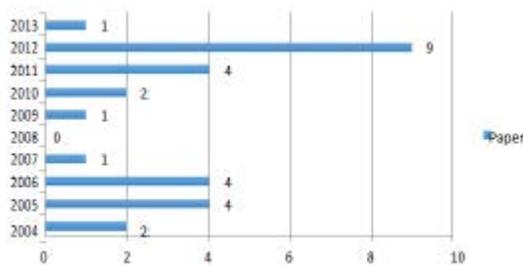


Figura 1. Publicaciones de Sostenibilidad y Dinámica de Sistemas. Fuente: El autor a partir de International Conference of the System Dynamics.

Por otra parte, uno de los estudios más llamativos dentro de la sostenibilidad específicamente enfocado en la preservación del medio ambiente como lo es el uso, implementación y transición de energías renovables (Hamarat, 2011), asimismo se evidencia la preocupación de los investigadores, docentes e instituciones educativas de evaluar directamente como cada práctica laboral independiente o formal puede o no ser sostenible dentro del sistema comercial, productivo y distributivo, como por ejemplo el cultivo de los peces y que clase resulta rentable y ecológicamente amigable (Martin Kunc, 2010). Sabiendo esto, era necesario ampliar los conocimientos dentro del campo en un margen legal o gubernamental, en el cual se desarrolla un proceso de simulación que estudia los efectos a la hora de implementar una ley, norma o política general,

tanto en tiempos de respuesta (Pruyt, 2012) como en su relación directa en la evolución e implementación de sostenibilidad (Mazur, 2014).

En resumen, los estudios abordados desde el enfoque de dinámica de sistema dentro de la temática de sostenibilidad han permitido desarrollar modelos dinámicos que demuestran matemáticamente un resultado estable o un argumento válido ante una situación de inconformidad.

## II. METODOLOGÍA: ESTRUCTURA MODELO SIMULACIÓN DE DINÁMICA DE SISTEMAS

### A. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los residuos para un fabricante generalmente son considerados nulos para volver a integrarse dentro del proceso productivo y generar algún tipo de beneficio, ya sea, monetario o como tal que contribuya directamente en el proceso de producción, por esta razón se plantea:

*“¿Cómo es posible diseñar un proceso de desarrollo de productos sostenibles para la Cadena de suministro del Mango de Lazo Cerrado (CSLC)?”*

Donde se busca obtener resultados que muestren la viabilidad de usar la cascara y el hueso se pueden reintegrar en la cadena de valor y generar un lazo cerrado en ella o ingresen a una nueva empresa beneficiada con estos como materia prima.

### B. HIPÓTESIS

Mediante el desarrollo de un modelo de simulación con Dinámica de Sistemas se pueden determinar el comportamiento que tiene el reintegro de los residuos expuestos anteriormente para el desarrollo de nuevos productos sostenibles y su impacto en la cadena de suministros.

### C. DIAGRAMA CAUSAL DEL MODELO

En este aparte se desarrolla la composición del sistema dinámico que representa el efecto de los residuos en los inventarios de la cadena de suministro de frutas, cada uno de los loop (flujos de realimentación) se explica a continuación (Ver Figura 2):

**B1:** Representa la cadena de valor principal donde se evalúa el proceso de reintegro de los residuos dentro de la misma en forma de un inventario reutilizable que vuelve al proceso de producción de las frutas y lo afecta de forma positiva.

**B2:** Muestra el lazo cerrado dentro de la cadena de suministro donde en el procesamiento de frutas se

genera unos residuos (Cascara, hueso) que son integrados nuevamente en la cadena en forma de productos sostenibles para generar un efecto positivo en el bucle.

**B3:** En el último bucle podemos observar como en cada eslabón de la cadena de suministros se generan residuos también que son incluidos en el inventario de Residuos.

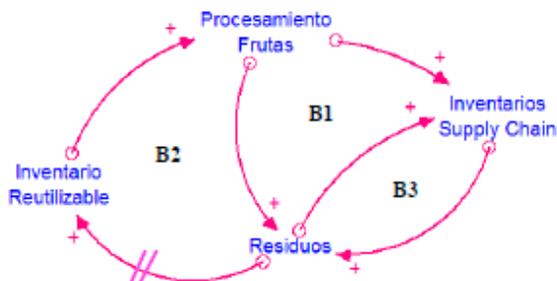


Figura 2. Diagrama Causal de Cadena de Suministro en Bucle Cerrado

#### D. DIAGRAMA FORRESTER DEL MODELO

El modelo muestra los inventarios de los actores de la cadena de suministro en bucle cerrado. Está compuesto por el inventario del productor, fabricante, distribuidor, cliente y reutilizador. El modelo se encuentra diseñado con los tiempos que regulan los flujos para cada actor en la cadena de suministro de bucle cerrado.

La Figura 3 muestra la cadena de suministro o cadena de valor de los productores campesinos colombianos donde tienen una fase de siembra donde se expresa la producción máxima esperada según el número de hectáreas disponibles fijas, luego se pasa a una cosecha que es afectada directamente por la contaminación o cambios climáticos donde se tiene un margen de pérdida del 5 %, cuando se tiene listo el inventario del fruto en su estado natural sin transformación luego pasa a ser distribuido al repartir un 40 % de la producción al mayorista y el 60 % restante pasa a ser distribuido y vendido a los fabricantes de jugos o mermeladas, sin embargo, por cuestiones de embalaje se tiene un margen de pérdida del producto del 5 % y finalmente llega al consumidor final que genera una retroalimentación para el productor.

En esta vía el fabricante ingresa la producción para ser procesada la pulpa lo que genera un inventario de residuos compuesto por la cascara y el hueso que pueden tomar dos caminos donde en el primero son reintegrados por el fabricante a la cadena del productor al ser útiles y generando un beneficio económico o productivo, en el segundo camino son vendidos a una

nueva empresa como materia prima, después de transformar la pulpa en jugos o mermeladas se pasa a comercializarla a mayorista, quienes lo venden a minoristas y finalmente al consumidor final. El artículo desarrolla el primer caso donde una empresa toma los residuos y son reintegrados al inicio de la cadena de suministro.

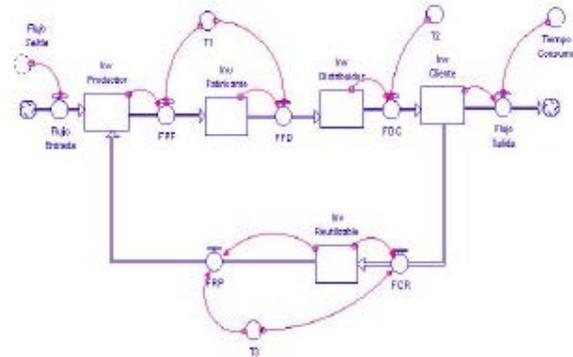


Figura 3. Diagrama Forrester de Cadena de Suministro en Bucle Cerrado

### III. RESULTADOS

Como podemos ver en la Figura 4 los inventarios de productor, distribuidor y reutilización en la cadena de valor de lazo cerrado simulada actúan de una forma oscilante donde el aumento de los inventarios del productor se debe a que el flujo de la reutilización de los clientes aumenta (FCR), estos regulados a través de la demora causada por el diseño de productos muestra el comportamiento estable de los inventarios a partir del segundo año debido a la demora en los flujos de diseño de productos y materiales (T3) y finalmente llegan a ser estables a partir de los 60 meses.

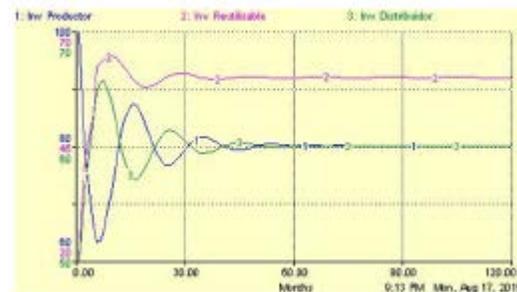


Figura 4. Comportamiento de Inventarios de Reutilización de productos en la cadena de suministro.

Los flujos del consumidor a la compañía recicladora (FCR), del productor al fabricante (FPF) y del fabricante al distribuidor (FFD) se presentan en la Figura 5. El mayor flujo de comportamiento se muestra del Consumidor al reciclador (FCR), donde se presenta el efecto generado por la disminución considerable en el

tiempo de desarrollo de productos. El comportamiento es oscilante y muestra relación con los primeros resultados obtenidos en los inventarios donde a los 5 meses también vemos el pico más alto entre fabricante y distribuidor (FFD) y simultáneamente es el más bajo para el inventario del productor lo que indica que sería el tiempo mínimo de adaptación al incluir los productos sostenibles dentro del proceso productivo.

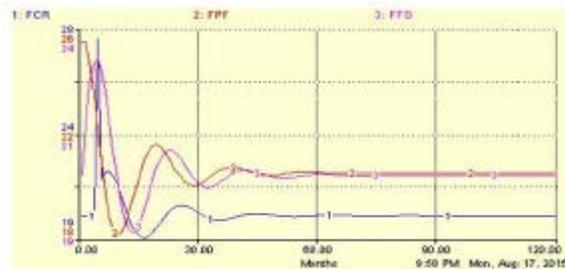


Figura 5. Comportamiento de flujos en la cadena de abastecimiento en bucle cerrado.

## REFERENCIAS

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irving McGraw - Hill.

Hamarat, E. P. (2011). *Energy Transitions towards Sustainability I: A Staged*. Energy Transitions towards Sustainability I: A Staged. Seoul, Korea.

Martin Kunc, L. A. (2010). *Fishing Industry Dynamics: Is fish farming sustainable? An Exploratory Study of the Chilean Salmon Industry*. Fishing Industry Dynamics: Is fish farming sustainable? An Exploratory Study of the Chilean Salmon Industry. Seoul.

Pruyt, I. M. (2012). *Modelo para comprender por qué hay tanta inercia en el proceso de transición de normas y herramientas gubernamentales*. Modelo para comprender por qué hay tanta inercia en el proceso de transición de normas y herramientas gubernamentales. Switzerland.

Mazur, C. w. (2014). *Combining the Strengths of System Dynamics and the Multi-Level Perspective to Explore Policies for Sustainable Transitions*. Combining the Strengths of System Dynamics and the Multi-Level Perspective to Explore Policies for Sustainable Transitions. Delft.

Di Giulio, V., Grasso, M., Migliavacca, S., & Vaglio, A. (2004). *MISS: A Model of Sustainable Human*

*Development*. International Conference of the System Dynamics. Oxford: System Dynamics Society.

Ansah, J. (2010). *Negotiating Fiscal Sustainability against Socio-Economic development: A Model-Based Policy Analysis*. International Conference of the System Dynamics (pág. 20). Seoul: System Dynamics Society.

Yavas, M., & Gizem, B. (2012). *Financial Sustainability of Social Security Institutions in the Presence of Aging Populations*. International Conference of the System Dynamics (pág. 23). St. Gallen: System Dynamics Society.

Radianti, J. (2004). *Modeling Government External Debt and Sustainability of Fiscal Policy*. International Conference of the System Dynamics Society. Oxford: System Dynamics Society.

Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Skaza, H., Kent, C., & Kristoffer, C. (2012). *Exploring Barriers to Implementing System Dynamics Tools for K-12 sustainability Education*. International Conference of the System Dynamics (pág. 27). St. Gallen: System Dynamics Society.

Sterman, J. (2012). *Web-based Simulations for Strategy and Sustainability: The MIT Sloan LearningEdge Management Flight Simulators*. International Conference of the System Dynamics (pág. 23). St. Gallen: System Dynamics Society.

Bisilkas, M., Ivan, B. T., & Aurora, G.-G. (2012). *A Model of the Sustainability Requirements Dynamics for New Product Development*. International Conference of the System Dynamics (pág. 27). St. Gallen: System Dynamics Society.

Sverdrup, H., Deniz, K., & Christer, G. (2012). *Modelling the gold market, explaining the past and assessing the physical and economical sustainability of future scenarios*. International Conference of the System Dynamics (pág. 23). St. Gallen: System Dynamics Society.

Pruyt, E., Jan, K., Caner, H., & Yucel, G. (2011). *Energy Transitions towards Sustainability: A Staged Exploration of Complexity and Deep Uncertainty*. International Conference of the System Dynamics (pág. 26). Washington: System Dynamics Society.

Somogyvari, M. (2012). Ex Ante and Ex Post Sustainability of Energy Choices. International Conference of the System Dynamics (pág.26). St. Gallen: System Dynamics Society.

Yucel, G. (2005). Sustainability in a Bipolar Global System: A Global Modeling Study with North-South Differentiation. International Conference of the System Dynamics Society. Boston: System Dynamics Society.

## 83. AGRICULTURA LEAN EN COLOMBIA: ANÁLISIS MEDIANTE DINÁMICA DE SISTEMAS LEAN AGRICULTURE IN COLOMBIA: USING SYSTEM DYNAMICS ANALYSIS.

**IRENE AYALA ARBOLEDA AND ANGELO HERNANDEZ**

Universidad del Valle - Colombia

arbol9012@gmail.com, angelo.hernandez@correounivalle.edu.co

### ABSTRACT

Agriculture is an issue that reflects various components along the production line, inputs, technology, technical and technological expertise, logistics and the influence of market factors make this a complex issue that several development programs efficient works in new methods and techniques for the development of agriculture. Some of these techniques to improve productivity can be the emergence of the Lean philosophy, which can be applied in agriculture, but little is known about the effects of such techniques in agricultural systems. This article presents an analysis of the system dynamics of Colombian agriculture is discussed, and the effects of the application of some Lean techniques in agriculture, in order to know that it can generate profits.

**KEYWORDS:** agriculture, system dynamics, Lean Manufacturing, Lean Agriculture.

### RESUMEN

La agricultura es un tema que refleja diversos componentes a largo de su cadena productiva, sus insumos, tecnología, conocimientos técnicos y tecnológicos, la logística, y la influencia de factores de mercados hacen de este un tema complejo del cual existen diversos programas de desarrollo de nuevos métodos y técnicas eficientes para el desarrollo del agro. Algunas de estas técnicas para mejorar la productividad pueden llegar a ser las surgidas de la filosofía Lean, que pueden ser aplicadas en la agricultura, sin embargo poco se conoce de los efectos de este tipo de técnicas en los sistemas agrícolas. En este artículo se aborda un análisis de dinámica de sistemas del agro colombiano, y los efectos de la implementación de algunas técnicas Lean en la agricultura, con el propósito de conocer que beneficios pueden llegar a generar.

**PALABRAS CLAVES:** agricultura, dinámica de sistemas, Lean Manufacturing, Lean Agriculture.

### I. INTRODUCCION.

Las políticas agrarias en Colombia a lo largo del desarrollo económico del país han sido cambiantes, generando presión sobre el campo; los aspectos políticos, socioculturales, tecnológicos, y el conflicto armado son los principales elementos que han determinado la actual agricultura en Colombia.

El desarrollo de la agricultura colombiana es afectado tanto por decisiones exógenas, como por los desarrollos endógenos del sector agrícola, a lo largo del tiempo se toman decisiones económicas que conllevan a generar presión al campo y a los mismos pequeños, medianos y

grandes productores. La problemática del sector agrícola, la actual tecnología, los tratados de libre comercio, hacen un ambiente propicio para el ingreso de nuevas tecnologías, métodos de producción y de diseños de la producción, el presente trabajo constituye las primeras aproximación para la introducción de la filosofía Lean al Agro colombiano.

### II. ANTECEDENTES

#### A. LA AGRICULTURA EN COLOMBIA.

Colombia históricamente es un país de vocación agrícola, el sector agrícola es considerado en la actualidad por las políticas de gobierno, una locomotora

del desarrollo del país, sin embargo este ha venido perdiendo representatividad en producto interno bruto colombiano, pasando de una participación de 17% en 1996 a 12% en 2007 en el PIB, esto sumado a que la actual locomotora desarrollo del país aún se encuentra lejos de tener crecimientos superiores al crecimiento general de la economía [1].

En tanto el sector agropecuario es afectado gravemente ante la presencia y recurrencia de fenómenos climáticos tales como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), conocido en su fase cálida como "El Niño" y en su fase fría como "La Niña". El efecto de las anomalías climáticas sobre el agro es socioeconómico de grandes proporciones, ocasionando sequías e inundaciones, proliferación de plagas y expansión de enfermedades, cambios en los ciclos de los cultivos y plagas, una mayor estacionalidad de la producción ocasionando variación en el rendimiento de los cultivos, importación de productos agrícolas y amenaza para la seguridad alimentaria [2]. A nivel mundial y local el calentamiento global, y el cambio climático constituyen preocupaciones reiteradas, especialmente en países en vía de desarrollo como Colombia. El cual tiene provisto un aumento de la temperatura de 2.5 C ° para 2050 y un efecto en el 80% de los cultivos de el país, el impacto será severo en la agricultura colocando en riesgo los cultivos de quienes constituyen la gran mayoría de los productores de alimentos en Colombia, los productores de escasos recursos y de pequeña escala [3].

La pobreza rural en tanto constituye una dinámica que afecta el sector agrícola, la brecha social cada año aumenta, el 84% de la población campesina posee un bajo nivel educativo y el 93% no tiene un empleo formal.

Aunque los pequeños productores juegan un rol dominante en la agricultura, el 65% vive en condiciones de pobreza o de pobreza extrema, a esto se suma la alta informalidad en la posesión de sus precios y el acceso limitado a fuentes de financiación como créditos y tecnología. El control, concentración y el uso de la tierra configuran diversos conflictos en el uso del suelo [4].

La gran informalidad en la propiedad rural, la criminalidad en el sector rural por parte del narcotráfico y actores delictivos no aporta seguridad al agricultor; ocasionando problemas de organización social. A esto se suma la infraestructura vial precaria que impide la conexión entre el pequeño productor y el mercado dejando en la cadena de intermediarios la rentabilidad aportando riesgo a cultivos de largo plazo, y provocando

que el pequeño productor se desplace hacia la ganadería. [5]. El Censo Nacional Agropecuario confirma, además, que el país destina grandes extensiones a la ganadería y mucho menos a la agricultura. Del total del área, el 80,4 por ciento se dedica a pastos, mientras que el 19,1 por ciento a siembras [6].

El sector agrícola colombiano presenta una baja competitividad frente a los mercados internacionales el gobierno colombiano subsana esta situación otorgando subsidios intentando estimular la siembra y los procesos internos sin embargo también ha provocado la dependencia de los subsidios para la sostenibilidad de los agricultores, lo que no estimula la mejora de técnicas productivas, y que distorsiona los procesos internos y restando transparencia a la distribución de los recursos para las prioridades del desarrollo competitivo de la agricultura [7]. En la actualidad, la producción se refleja altos costos, relacionados con la deficiente disponibilidad de infraestructura y de logística, que dificulta la transferencia de conocimientos técnicos y tecnologías que catalicen el desarrollo del agro. En materia de infraestructura el país se encuentra con de las calificaciones más bajas, según World Economic Forum Colombia presenta una calificación baja frente a lo demás países Latinoamericanos [8]. La infraestructura portuaria, aérea, ferrovías y la navegabilidad en los ríos, presentan demoras. La infraestructura tecnológica como los distritos de riego, plantas de secamiento y almacenamiento requieren de inversiones de gran envergadura para mantener la competitividad y potenciar la producción agrícola. El Censo Nacional Agrícola, realizado en el 2014, demostró que el área rural se caracteriza por un bajo nivel de capitalización. El 83% de los productores agrícolas declaró no contar con maquinaria y un porcentaje igual asegura no disponer de infraestructura agropecuaria adecuada. El CNA evidenció la baja solicitud de créditos y la poca asistencia técnica para las actividades agropecuarias. El 90% de los productores agropecuarios afirmó no recibir ninguna. Esto coloca en evidencia el abandono del agro colombiano, debido a políticas públicas que carecen de sentido de pertenecía, generando baja productividad, competitividad y eficiencia [6]. Además la precaria oferta de servicios públicos en el campo Colombiano ha generado una serie de fallas de mercado que tienen como consecuencia un incremento de los costos de transacción y barreras para la adopción de nuevas tecnologías agrícolas y para la estandarización de los procesos productivos, lo que hace en la pequeña y

mediana agricultura en el país un rezago frente a la de países vecinos, donde juega un papel fundamental en las dinámicas de pobreza en las áreas rurales [9].

### **B. PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.**

En Colombia según el actual CNA, existen 7 millones de hectáreas sembradas con cultivos. El área destinada a cultivos permanentes ha aumentado: pasó de 43,7 % en el censo de 1960, a 52,6 % en el de 1970 y hoy es el 74,8 %. Entre tanto, el 16% corresponde a cultivos transitorios. Los cultivos permanentes, son principalmente la caña, la palma, el caucho, el banano, las flores, el café, el cacao, el aguacate, la naranja y el limón. Los cultivos permanentes de mayor exportación se han desarrollado en buena parte, gracias a los centros de ciencia y tecnología que han financiado los mismos productores, como es el caso de Cenicafé, Cenicaña y Cenipalma, dejando rezagados los demás productos agrícolas importantes para el sector. Por el contrario, los cultivos transitorios, como el maíz, la soya, la papa, el arroz, las hortalizas y las verduras, no han crecido tanto como los anteriores. Estos tipos de cultivo son fundamentales en la estructura productiva agrícola porque permite a los agricultores cambiar rápidamente, dependiendo de las rentabilidades, de las condiciones climáticas o de las circunstancias del mercado. Si los cultivos transitorios crecieran más, no se importaría el 28 % de ellos [9].

### **C. TRATADOS DE LIBRE COMERCIO (TLC).**

En Octubre de 2011 el congreso de Estados Unidos aprobó el Tratado de Libre Comercio con Colombia, y entro en vigencia el 15 de Mayo del 2012.

También existe un TLC entre Colombia y Canadá, que entró en vigencia en Agosto de 2011. Con la entrada en vigor del TLC, el 98% de la oferta exportable colombiana incluida en el acuerdo entrará libre de arancel a Canadá, país que genera el 2,6% del PIB mundial y que es el quinto importador del planeta dado el alto poder adquisitivo de sus 34 millones de habitantes. Un acuerdo de TLC entre Colombia y la Unión Europea fue aprobado en 2012 y entro en vigor en el año 2013. El TLC entre Chile y Colombia entró en vigencia en 2009. Este tratado facilita las garantías para que los capitales chilenos en sectores como el maderero, el forestal, el papelerero y el agroindustrial lleguen de forma más dinámica a Colombia. En Febrero de 2013, se firmó el TLC entre Colombia y Corea del Sur, y aún no ha entrado en vigencia. Este Tratado de Libre Comercio beneficia principalmente al sector agrícola colombiano mientras Corea del Sur exportará maquinaria y

productos de tecnología [10]. El sector agropecuario de Colombia tuvo resultados desfavorables por la llegada de productos estadounidenses al país, generando un déficit de la balanza comercial agrícola (diferencia entre exportaciones e importaciones) donde creció más del 300% sin incluir flores, café y banano. Productos como el trigo, el lactosuero, el arroz, la leche en polvo y carne de pollo, se encuentran en mayor riesgo de ser afectados por el aumento de las importaciones [11]. Esta balanza pasó de US\$323 millones en 2012 a US\$1022 millones en 2014. Por su parte, la balanza comercial agropecuaria sin pesca ni agroindustria continuó deteriorándose. El saldo pasó de US\$1799 millones en el año anterior a que el Acuerdo entrara en vigor a US\$1559 millones y a US\$1077 millones en el primero y segundo año de vigencia del Acuerdo, respectivamente [11]. Por ejemplo, la participación de los Estados Unidos en el total de las toneladas importadas de distintos tipos de arroces aumentó significativamente y en el caso del arroz con cáscara alcanzó el 100%. La afectación negativa para el campo colombiano es indudable a pesar de haber logrado aumentar las exportaciones a Estados Unidos de 23 a 34 millones de dólares. Este problema es agravado debido a que gran parte de la producción agrícola no podría entrar a Estados Unidos, según un informe publicado por el Ministerio de Agricultura. Productos como las carnes, tubérculos, frutas, hortalizas y leche tendrían restricciones fitosanitarias: plagas o enfermedades que afectarían a la agricultura estadounidense. Las razones son casi todas de tipo fitosanitario; es decir, los problemas de plagas (como el gusano barrenador) y enfermedades (hongos y virus) en Colombia podrían poner en riesgo a los agricultores de EE. UU. En cuanto a la producción pecuaria, la situación es similar, pues la peste porcina, la enfermedad de Newcastle, la fiebre aftosa, la enfermedad vesicular porcina frenan cualquier tipo de exportación a ese país, bien sea de carne de cerdo, de res o de aves [12].

### **D. OPORTUNIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS LEAN EN EL AGRO COLOMBIANO.**

La producción agropecuaria se ha dado esencialmente por el aumento del área sembrada, con una desordenada ampliación de las fronteras agrícolas. No hay mayores avances tecnológicos en cultivos alimenticios, con excepción de la producción del arroz y maíz (para la agro-industria de concentrados) y hay una inversión insuficiente y poco estratégica en ciencia y tecnología agrícola [4]. La modernización del campo tiene que ser vista como un proceso de transformación social y regional que termine con el largo tránsito de la

sociedad rural colombiana del siglo 19 a la sociedad urbana del siglo 21. Esto implica dar respuestas contundentes a problemas estructurales, políticas públicas coherentes y sostenidas de desarrollo rural integral que enmarquen políticas ambientales, donde se favorezca la producción agropecuaria de empresas pequeñas y medianas, la agregación de valor a los productos y su acceso al mercado, que permita a las familias rurales acceder a un buen ingreso, con empleo de la mano de obra familiar, y la demanda de bienes y servicios contribuya al crecimiento de otros sectores de la economía, considerando también las dinámicas macroeconómicas.

Establecer políticas que reconozcan la importancia de las especificidades regionales, la vocación de sus territorios, y se promueva la equidad de género, donde se valore la riqueza intercultural de Colombia [4]. El crecimiento del sector agrícola colombiano va a estar soportado en una gran demanda proveniente principalmente del mercado externo. Los datos revelados por el Fondo Internacional para Desarrollo Agrícola (FIDA) demuestran cómo la producción de alimentos en países en vías de desarrollo (América Latina y África) deberá duplicarse para el 2050 debido al crecimiento del ingreso disponible de las economías emergentes (China e India), la mejora en la calidad de la dieta y el incremento en la población mundial, que alcanzará las 9.000 millones de personas [13]. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el 80% de la cantidad de alimentos nuevos que se requerirán para el 2050, deberán ser provistos por mayores productividades, es decir volver más eficiente el parque productivo del agro y sólo el 20% corresponderá a nuevas áreas [14]. El desafío para el agro colombiano se tendrá que reflejar en mejoras genéticas (biotecnología), tecnologías y mecanización de punta, agricultura de precisión, desarrollo de núcleos productivos, economías de escala, valor agregado de los productos agrícolas, con enfoque de mercado, en resumen el sector requiere de un impulso político para implementar técnicas eficientes y competitivas para el agro colombiano. Colombia posee una amplia disponibilidad de tierras con vocación agrícola, además cuenta con espacios que pueden ser utilizados para mejorar la productividad y el manejo de poscosecha de los alimentos, y cuenta con una amplia oferta de recursos naturales como agua y biodiversidad, y condiciones climáticas tropicales que permitirán la producción de alimentos durante todo el año,

asegurando de esta manera producción de alimentos a futuro [15].

### E. LEAN MANUFACTURING EN AGRICULTURA

Lean Manufacturing es una filosofía derivada del Toyota Production System (TPS). Su principal aporte es que cambia la manera de entender la manufactura y producción moderna en el mundo. "Lean Manufacturing" o como se conoce de manera normal manufactura esbelta o fabricación magra se ha extendido a varios sectores productivos y vocaciones. En el campo de la construcción se encuentra Lean Construction denominada "construcción sin pérdida" propuesto por Koskela, que aplica principios de Justo a tiempo JIT y administración total de la calidad TQM en ambientes de construcción [16], Lean Development Software por su parte se basa los principios de enfoque al cliente, reducción del desperdicio, empoderamiento del personal, flujo eficiente del trabajo y mejoramiento continuo. Mejorando de esta manera el flujo de valor, la administración del riesgo y la toma de decisiones. [17].

Por su parte las técnicas Lean en materia de la agricultura hacen parte de iniciativas a nivel global, tanto de empresas consultoras, organismos de estado, y empresas del sector privado, este tipo de iniciativas parten de enfoque pragmático dándole un mayor potencial a la aplicación y la obtención de resultados. Casos de aplicación tales como Lean Farming en Europa contribuyendo en pensamiento a largo plazo, estandarización, empoderamiento por parte de los agricultores, aprendizaje organizacional y mejoramiento continuo. Técnicas como 5s, mapeo de la cadena de valor, reuniones de mejoramiento continuo, son algunas de las aplicaciones frecuentes en Lean Farming [18].

En Norte América, especialmente en Canadá por parte del Ministerio de Agricultura de Alberta las iniciativas de mejoramiento de la productividad dotando capacitando, y dotando de recursos Lean a empresas dedicadas tanto la agricultura primaria como en las empresas de procesamientos de alimentos [19].

En Rusia algunas grandes compañías inician las aplicaciones en técnicas Lean en la agricultura, estas cambian aspectos de la cultura empresarial, adaptación a factores externos de la naturaleza y estacionales, aplicando mejoras en logística, mayor competitividad mediante el mejoramiento de la calidad, reducción de costos y el concepto de entregar valor al cliente [20].

En Colombia se encuentran aplicaciones a microempresas, aportes conceptuales, modelos de

implementación, y aspectos evaluativos como indicadores y métricas de Lean Manufacturing a ambientes de manufactura lo cual permite tener elementos para la implementación, y evaluación a futuro de este tipo de filosofías productivas en otros sectores de la economía como la agricultura.[21],[22].

#### **F. TECNICAS ASOCIADAS A AGRICULTURA LEAN.**

La implementación de Lean Manufacturing en el agro podría partir desde la necesidad de aumentar sus conocimientos sobre el cultivo y mejores técnicas de producción. Se utiliza el modelo conceptual y las principales técnicas de Lean manufacturing adaptado al campo colombiano.

Mapas de la Cadena de Valor: Aporta al agricultor conocimientos claros sobre los procesos que agregan valor al cultivo, de esta manera tiene una visión desde los proveedores de insumos, la preparación y adecuación del suelo, la siembra, el monitoreo, la postcosecha y la entrega final al mercado o cliente. El agricultor conoce cuanto se demora cada proceso y tiene la oportunidad de detectar las partes del proceso que no agregan valor para enfocar sus esfuerzos de mejorar. Este aspecto cuenta con la inclusión de aspectos climáticos en la cadena del valor, y como se podría reaccionar a ella.

5s: Es la herramienta que aporta el fundamento de la cultura Lean que aporta orden, limpieza, manejo visual, estandarización y disciplina personal al manejo de materiales, la estandarización en el manejo, materiales y maquinaria aporta comunicación clara, que evita demoras y retrasos y enfoca sus esfuerzos en las actividades generadoras de valor. La gran mayoría de los agricultores colombianos carecen de educación formal, mediante sistemas visuales facilita la gestión y el aprendizaje rápido de estos esquemas.

Trabajo estándar: Los procesos agrícolas actuales tienen oportunidades de mejoramiento para incrementar la calidad y disminuir el riesgo a la hora de obtener cultivos sanos. Los estándares facilitan conocer las mejores técnicas en cada parte del proceso agrícola y así tomar estándares que reduzcan la variabilidad del cultivo, además facilitan el aprendizaje individual por parte de los agricultores.

JIDOKA: La automatización con sentido humano, aporta elementos para controlar el proceso productivo, aporta información en tiempo real, ya que considera la implementación de tecnologías que permitan diseñar

mejores cultivos y el proceso agrícola. Esta herramienta se vuelve coherente con el actual interés desarrollado por la agricultura de precisión que aporta información del cultivo en tiempo real. La implementación de maquinaria con sentido humano, sin desplazamiento de trabajador para la reducción de tiempos de siembra y cosecha, aporta un proceso rápido y libre de errores dando la oportunidad de implementación de otro elemento de la filosofía de producción Lean conocido como Poka-Yoke.

TPM: En la mecanización agrícola el mantenimiento de la maquinaria es uno de los aportes importantes, así como en la industria la maquinaria recibe constantemente mantenimiento.

JIT: Los materiales, insumos y cosechas se entreguen en el momento justo en el que se van a usar, de tal manera que se reduzcan partes del proceso que agregan costos, lo dificultan y generan variabilidad [23].

### **III. DINAMICA DE SISTEMAS Y LEAN EN COLOMBIA**

El Enfoque de la Filosofía Lean se concentra en la generación de valor y reducción de desperdicios. La conceptualización, ya tiene antecedentes en Colombia. Rivera aborda aspectos conceptuales y de enseñanza de Lean Manufacturing mediante herramientas de pensamiento sistémico y de dinámica de sistemas, considerando el efecto que estos tienen sobre ambientes productivos [24]. Otros autores como Serman también plantean abordajes mediante dinámica de sistemas para analizar los efectos de la implementación de políticas Lean en ambientes de cadenas de abastecimiento e inventarios [25].

Debido a esto la conceptualización del pensamiento sistémico por modelos que abordan Lean Manufacturing bajo la dinámica de sistemas, permite aumentar la comprensión del sistema y realizar análisis del comportamiento del agro en Colombia si estas técnicas se implementan, para así iniciar los primeros abordajes de lo que pueden ser los primeros diseños de sistemas de agricultura Lean .

#### **A. DESCRIPCIÓN SISTÉMICA DEL AGRO EN COLOMBIA**

El agro colombiano está bajo presiones de tipo políticas, mercado, y externalidades, además de tener un abandono en inversiones de infraestructura que lo hace rezagado a nivel latinoamericano y global. La forma de

tratados de libre comercio con diferentes países y especialmente con EE.UU, ha presionado a los productores con exigencias fitosanitarias, y aumento de las exigencias de calidad, colocando al agro en una posición desfavorable con respecto a exportaciones y sustitución de productos nacionales. Los productores han soportado pérdidas sostenidas y algunos se han retirado del mercado. La situación del campo es compleja, no hay inversión en infraestructura tecnológica ni vial, que permita aumentar la capacidad

competitiva a nivel local e internacional. El campo colombiano enfrenta externalidades como lo son el conflicto armado y los fenómenos climáticos lo cual pone en riesgo los cultivos. Los productores agrícolas de pequeña y mediana escala no cuentan con capacitación técnica ni apoyo de instituciones públicas, esto hace que se convierta en un espacio propicio para la implementación de nuevos métodos y técnicas eficientes que respondan a las necesidades del agro colombiano.

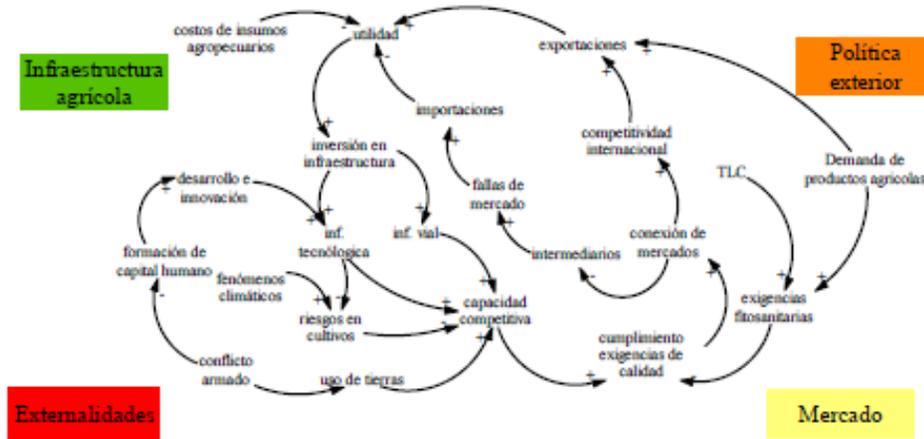


Fig.1 Diagrama causal problemática de la agricultura en Colombia

### B. INSERCIÓN DE TÉCNICAS LEAN



Fig.2 Diagrama causal entre elementos de la filosofía Lean basado en el esquema propuesto por Rivera (2010).



aspectos de variabilidad climática, política pública, de conflicto armado y mercado, que juntos aportan riesgo a la cadena de valor de la agricultura colombiana, generando de esta manera que el pequeño agricultor trabaje bajo pérdida y bajo una desprotección por parte de entidades agrarias, no existe un mapeo de la cadena de valor y los intermediarios se quedan con las ganancias del agro, disminuyendo la calidad de vida del pequeño agricultor, que reduce el precio de sus productos.

La agricultura lean ya presenta casos de éxito en el mundo, en ambientes de extrema pobreza, y permitiría agregar métodos y elementos que incrementen la productividad en el campo colombiano.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Competitividad, C. P. (2008). Competitividad del sector agropecuario colombiano. Bogotá DC: Consejo Privado de Competitividad. Pág. 141. [2] Efectos del Cambio Climático En La Producción y Rendimiento de Cultivos Por Sectores: Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (FONADE) E Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Mery Esperanza Fernández. pág. 6. [3] Lau, C.; Jarvis, A.; Ramírez, J. (2011). Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático. CIAT, Políticas en Síntesis no. 1. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 4 p [4] Cotecno – Agroconsulting – CIAT – CISP – Ideaborn. (2011). Campesinos, tierra y desarrollo rural: Reflexiones desde la experiencia del tercer laboratorio de Paz. Retrieved from [http://eeas.europa.eu/delegations/colombia/documents/projects/cartilla\\_tierra\\_y\\_desarrollo\\_lab\\_paz\\_iii\\_es.pdf](http://eeas.europa.eu/delegations/colombia/documents/projects/cartilla_tierra_y_desarrollo_lab_paz_iii_es.pdf) [5] R.I. Parra. (2012, Dic. 13). Agricultural productivity in Colombia: current challenges and unresolved issues [Online]. Disponible en: <http://dapa.ciat.cgiar.org/productividad-agricola-de-colombia-retos-y-temas-pendientes/> [6] Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE, Avance del 3er Censo Nacional Agropecuario, Bogotá, 11 de agosto de 2015. [Online] file:///C:/Users/INTEL/Downloads/CNA\_comunicado\_2015.pdf [7] Espinosa, A & Villegas, Ana (2000): Los incentivos a las exportaciones en Colombia frente a los compromisos asumidos ante la OMC. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. [8] World Economic Forum (2011): Página web consultada el día 15 de Agosto del 2015. <http://www3.weforum.org/docs/GCR2011-12/14.GCR2011-2012DTIIIInfrastructure.pdf>
- [9] El Espectador: "TLC, lejos de ser el principal problema del agro en Colombia" Entrevista con Andrés Moya. 30-04-2014 [online]. Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/tlc-lejos-deser-el-principal-problema-del-agro-colombi-articulo-489383>
- [10] Tratados de Libre Comercio firmados por Colombia (2013) Página web consultada el día 15 de agosto del 2015. [http://www.productosdecolombia.com/main/guia/TLC\\_Pais\\_Libre\\_Comercio\\_Colombia.asp](http://www.productosdecolombia.com/main/guia/TLC_Pais_Libre_Comercio_Colombia.asp)
- [11] Montoya, A: Efectos del TLC Colombia – EE.UU. sobre el agro, Los Rostros. ISBN: 978-958-58522-3-5. OXFAM, PLANETA PAZ. Abril de 2015 Bogotá D. C.
- [12] El Tiempo; Grueso del agro, aún sin acceso: Redactado por Juan Carlos Domínguez [Online] <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-5422058>. 15 de mayo de 2012
- [13] The future of world food and nutrition security, May 2012. IFAD [Online] [http://www.ifad.org/pub/factsheet/food/foodsecurity\\_e.pdf](http://www.ifad.org/pub/factsheet/food/foodsecurity_e.pdf)
- [14] Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, FAO: Cómo alimentar al mundo en 2050 [Online]. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/synthesis\\_papers/C%C3%B3mo\\_alimentar\\_al\\_mundo\\_en\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/synthesis_papers/C%C3%B3mo_alimentar_al_mundo_en_2050.pdf)
- [15] El momento del Agro: Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario - FINAGRO. Bogotá- Colombia - Suramérica, 2013. [Online] <https://www.finagro.com.co/noticias/el-momento-del-agro#sthash.gGtsEcjN.dpuf>
- [16] Koskela, L. (1997). Lean production in construction. Lean construction, 1-9.
- [17] Ebert, C., Abrahamsson, P., & Oza, N. (2012). Lean software development. IEEE Software, (5), 22-25.
- [18] Boysen, B. Earn at least 100,000 a year (2012) [online]. Disponible en: [http://www.coloquick.com/media/16078/bovilogisk\\_3sider\\_uk.pdf](http://www.coloquick.com/media/16078/bovilogisk_3sider_uk.pdf)
- [19] Alberta Agriculture and Rural Development: Case Study: Lean in Primary Production Operations (2011).
- [20] A. Ulanov. (2014, Jun. 26). Interview applying lean management principles to agriculture in Russia [Online]. Disponible en: <http://planet-lean.com/applying-leanmanagement-principles-to-agriculture-in-russia>
- [21] Maldonado, D. I. B., & Cadavid, L. R. (2014). Cómo una microempresa logró un desarrollo de productos ágil y generador de valor empleando Lean. Estudios

Gerenciales, 30(130), 40-47.

[22] Manotas Duque, D. F., & Rivera Cadavid, L. (2007). Lean manufacturing measurement: the relationship between lean activities and lean metrics. Estudios Gerenciales, 23(105), 69-83.

[23] Rivera Cadavid, L. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing.

[24] Cadavid, L. R., Dinas, J. A., & Caicedo, P. F. (2010). Applying Systems Thinking to Lean Manufacturing Learning. Sistemas y Telemática, 7(14).

[25] Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world (Vol. 19). Boston: Irwin/McGraw-Hill.

### AUTORES



**IRENE AYALA ARBOLEDA**

Estudiante de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Tecnóloga en Ecología y manejo Ambiental de la Universidad del Valle



**ANGELO V. HERNÁNDEZ GARCÍA**

Estudiante de Ingeniería Industrial. Facultad de ingeniería. Universidad del Valle.



## 84. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SERVICIO DE SALUD EN LA ATENCIÓN DE PACIENTES EN BOGOTÁ

ANGELICA MARTÍNEZ RINCÓN, PAULA HERNÁNDEZ, JUAN SEBASTIAN SANCHÉZ AND MILTON MAURICIO HERRERA RAMÍREZ

Universidad Minuto de Dios, Bogotá, Colombia,  
amarti34@uniminuto.edu.co, phernandezm@uniminuto.edu.co, jsancheztor@uniminuto.edu.co,  
mherrera@uniminuto.edu.co

### ABSTRACT

En la última década se observa el aumento significativo del sector de servicios de salud, por tanto la relación entre los actores del sistema de salud son más complejas. En esta medida los recursos empleados deben ser planeados teniendo en cuenta los tiempos de atención y las capacidades de suministro en los medicamentos.

El artículo plantea el análisis de los servicios de salud en la atención de pacientes en Bogotá por medio de técnicas de simulación. Se utilizara la metodología de dinámica de sistemas para evaluar el comportamiento de la atención de pacientes en Bogotá y su relación con la cadena de suministro de medicamentos. Los resultados muestran los efectos de los tiempos de atención y suministro de medicamentos en los pacientes atendidos y tratados en la cadena de abastecimiento de medicamentos.

**KEYWORDS:** Dinámica de sistemas, servicios de salud, pacientes, cadena de suministro, medicamentos.

### I. INTRODUCCIÓN

Un servicio se define como un conjunto de actividades que permiten satisfacer una necesidad particular y que se caracteriza por un grado alto de intangibilidad que requiere una gestión antes y después para lograr la satisfacción integral del servicio.

La metodología de dinámica de sistemas permite modelar el comportamiento de sistemas complejos. La interacción de los actores de la cadena de abastecimiento de medicamentos y la capacidad de atención son aspectos fundamentales para el análisis del uso de los recursos en la prestación de un servicio de salud. El uso de la simulación con dinámica de sistemas permite entender el comportamiento e interacción entre el flujo de medicamentos y la atención de pacientes en los servicios médicos del sistema de salud en Bogotá.

La cadena de abastecimiento de medicamentos interactúa con la prestación de servicios de salud en la atención de pacientes por medio de los flujos de materiales e información.

Entender el comportamiento generado en el sistema de prestación de servicios de salud permite proponer estrategias alrededor de la prestación de servicios de salud en la ciudad de Bogotá.

La estrategia de modelamiento se basa en el concepto de flujo de información, material y recurso humano que circula en la cadena de abastecimiento de medicamentos. Los sectores propuestos se fundamentan en los actores que intervienen en la cadena de abastecimiento de medicamentos, en la prestación de servicios de salud en la atención de pacientes y en los tiempos de atención y consumo de medicamentos por pacientes.

El artículo se encuentra dividido en cinco sesiones. La primera presenta los antecedentes alrededor de la aplicación de la dinámica de sistemas en problemas de salud o cuidado de la salud. La segunda parte muestra la formulación del problema y seguidamente el diagrama causal. El cuarto acápite presenta el modelamiento con dinámica de sistemas y finalmente, se presentan los resultados y discusión.

## II. ANTECEDENTES

Uno de los problemas que se presenta en los servicios de salud es la demora en la atención de pacientes y la retención de pacientes internados causada por la demora en el suministro de medicamentos. El análisis de este tipo de problemas es abordada desde la simulación con dinámica de sistemas que proporciona un enfoque estratégico a través del diseño de políticas en la gestión de los servicios de salud. El enfoque estratégico que permite la simulación de los actores en la cadena de abastecimiento de los medicamentos permite una visión integral de los flujos de información, material y recurso humano.

Las publicaciones que emplean la dinámica de sistemas para abordar problemas en los servicios de salud o el cuidado de la salud han aumentado paulatinamente desde 1999 hasta la fecha. La Figura 1 presenta el número de publicaciones del período comprendido entre 2009 y 2015 en las bases de datos especializadas. Se destaca el período de 2013 con el mayor número de publicaciones en este enfoque en comparación con otros períodos.

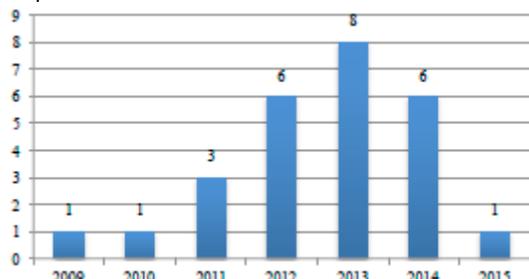


Figura 1. Publicaciones enfocadas a salud que emplean dinámica de sistemas.

Fuente: Autores.

El uso de la dinámica de sistemas en los enfoques de cuidado de la salud, salud pública y servicios de salud suman alrededor de 31 publicaciones en bases especializadas (ver Tabla I). En esta vía, la combinación de la simulación discreta y la simulación con dinámica de sistemas en los temas de cuidado a la salud muestran el mayor número de publicaciones. Se destacan los trabajos de revisión sistemática de literatura expuestos por Koelling y Schwandt [1], Homer y Hirsch [2] y Olmen et al [3]. Los artículos están orientados a presentar las bondades y aplicaciones de la dinámica de sistemas en los sistemas de salud.

TABLA I. MÉTODOS APLICADOS EN SALUD CON DINÁMICA DE SISTEMAS DE ACUERDO AL ENFOQUE

	Cuidado de la salud	Revisión literaria	Salud Pública	Servicios de Salud	Total general
Dinámica de Sistemas	13		7	11	31
Dinámica de Sistemas CARO-PLUS (Cost-efficiency Analysis of Remediation Options)	1				1
Dinámica de Sistemas y Analytical Hierarchy Process model			1		1
Dinámica de Sistemas y Simulación Basada en Agentes	1				1
Dinámica de Sistemas y Simulación Discreta	4			1	5
Dinámica de Sistemas-Teoría de Restricciones	1				1
Dinámica de Sistemas-Mapas Cognitivos	1		1		2
Revisión literaria		3			3
<b>Total general</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>45</b>

El sistema de salud presenta grandes polémicas en el aumento de la población y variación de la demanda que afectan el desempeño del servicio. Según Rust [4] mediante la dinámica de sistemas se puede realizar un nuevo diseño en la cadena de suministro, los resultados que obtendría se darán en tres partes en la atención de los servicios de salud en cuanto acceso, calidad y costo. Tao [5] presenta un análisis de los fondos de sistema de salud y la relación de causalidad de todas las variables, pronosticando el ingreso de los fondos, gastos y propone contramedidas.

También se han realizado artículos de sistemas dinámicos en teleasistencia para atención en adultos mayores, el impacto a corto plazo y costos beneficios [6]. Los flujos dinámicos con interacciones que tienen los pacientes, médicos, medicamentos, tratamientos, ambulancias y crecimiento de la población. Mark Paich [7], aborda como realizar posibles alternativas estratégicas de mercadeo desarrollando planes rentables en la elaboración de medicamentos.

Schwandt [8] presenta una visión mundial en el campo sistémico como aplica en el área de la salud y las nuevas orientaciones de aplicación y el comportamiento en el tiempo.

Un grupo de investigación operativa del departamento de salud en Inglaterra, utiliza los modelos de dinámica de sistemas para las políticas de salud y la ejecución de programas, analizando las oportunidades y fortalezas, para el desarrollo y su uso futuro [9].

Otros artículos tienen enfoques en los tiempos de atención, para el rediseño de los centros de servicio de salud, estos modelos ayudarían a predecir problemas de ejecución y sugiere algunas maneras de mejorar [10].

Jiaxiang Hu [11] plantea inversión en la capacitación del personal en el área de la salud, disminución de la burocracia y gestiones administrativas que ayudarían a la mejorar los tiempos en las demoras de atención a los pacientes.

Sadat [12], muestra el rendimiento del sistema con dinámica de sistemas, busca aplicar un proceso de mejora continua en los fondos públicos financiados del sistema de salud, maximizar las medidas de rendimiento, los flujos de caja, beneficio neto y el retorno de inversión.

Lin [13], Aplica la dinámica de sistemas para políticas de salud pública en enfermedades particulares, identificando problemas tales como retrasos, retroalimentación, estructuras de flujos de cajas, con el objetivo de integrar sistemáticamente los tratamientos y lo programas de prevención.

En la revisión bibliográfica se detectó que una de las preocupaciones más destacadas en el sistema de salud son los avances en las enfermedades, en especial las crónicas, mediante dinámica de sistemas se pudo demostrar que "el aumento de la prevalencia de la enfermedad y la respuesta a la misma, incluyendo el tratamiento de las complicaciones y las actividades de gestión diseñado pueden reducir las complicaciones y que con un enfoque de dinámica de sistemas se puede evaluar las políticas de salud pública actuales en el control de la diabetes y la prevención [14]. Un caso que se aplicó en Canadá donde se refleja la situación de la región de Saskatoon, mediante un modelamiento del progreso de la enfermedad como un sistema dinámico y cogiendo las interacciones y retroalimentaciones entre los factores. El modelo fue capaz de ayudar a los tomadores de decisiones para que guarden los futuros impactos de las intervenciones actuales y encontrar los cuellos de botella". Mientras tanto en Washington se describe un programa para mejorar la atención crónica y cómo los modelos de dinámica de sistemas centrados en la diabetes y la insuficiencia cardíaca apoyaron la planificación de ese programa [15]. Los modelos proyectan los costos y los beneficios del programa más de 20 años y han dado su liderazgo la capacidad de hacer la planificación de recursos, establecer expectativas realistas, determinar los factores críticos de éxito y evaluar los impactos diferenciales sobre las partes afectadas.

### III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se plantea el siguiente problema a evaluar mediante la metodología de simulación con dinámica de sistemas: ¿Cuál es la causa de la baja capacidad de atención de los servicios de salud en la demanda medica de pacientes de la cadena de abastecimiento de medicamentos?

### IV. DIAGRAMA CAUSAL

El diagrama causal está constituido por 7 variables, 2 ciclos de retroalimentación negativa y 3 positiva (ver Figura 2). Se propone tres niveles del comportamiento de los servicios de salud, (capacidad de atención, demanda de pacientes y suministro de medicamentos). Cada uno de los cinco efectos identificados están inmersos en el comportamiento dinámico de la cadena de abastecimiento de medicamentos.

Efecto de capacidad de atención y calidad, identificados con un flujo de realimentación (Bucles: B1 y R1).

Efecto en el suministro de los medicamentos, las políticas y mercado libre identificados con un flujo de realimentación (Bucles: B2 y R3).

Efecto de la demanda de pacientes y el suministro de medicamentos (Bucle: R2).

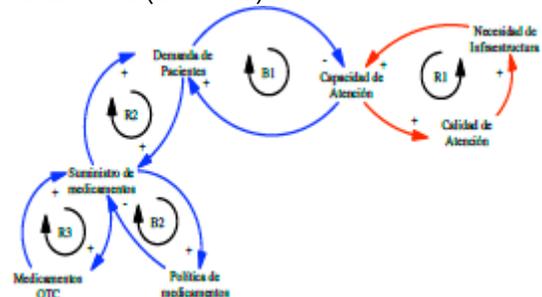


Figura 2. Diagrama Causal.

Los bucles y su descripción se presentan a continuación: R1: Es el incremento de la capacidad de atención, genera una necesidad en el aumento de la infraestructura. R2: El incremento de la demanda de pacientes en el sistema hace que el suministro de medicamentos deba aumentar para satisfacer la demanda convirtiendo esto en un refuerzo.

R3: Al ser requerido el incremento de medicamentos en los almacenes se hace necesario que este regulado por la normatividad políticas en medicamentos, esto con el

fin que los pacientes no tengan acceso directo en la automedicación (B2).

B1: A mayor capacidad de atención, existe mayor demanda de pacientes y mayor requerimientos de afiliación, al existir mayor número de afiliaciones hay menos capacidad de atención.

B2: Al existir mayor suministro de medicamentos aumentan las regulaciones de políticas de medicamentos y mayores acciones penales en aquellos casos donde los medicamentos no son entregados a los pacientes, esto hace que aumenten los costos en el recursos de los sistemas y disminuya el recursos financiero de sostenimiento.

A continuación, se presenta el modelamiento con la metodología de dinámica de sistemas para el problema de servicios de salud en la atención de pacientes en Bogotá.

V. MODELAMIENTO

Se construyó la interface que cuenta con cinco sectores de simulación: Consumidor (servicios de salud), mayoristas, farmacias, laboratorios y centros medicos. La Figura 3 presenta la relación y efectos entre los sectores de simulación.

La estrategia de modelamiento es similar a la utilizada en cadenas de suministro basadas en manufactura [16].

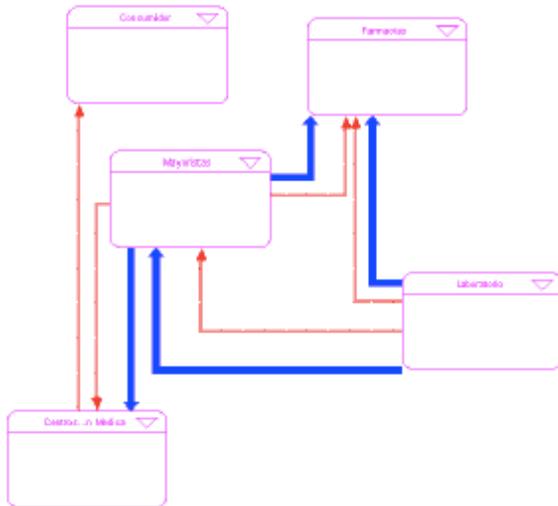


Figura 3. Interface del modelo de simulación propuesto.

La Figura 4 presenta los flujos del sector de pacientes y las dependencias entre los atendidos y no atendidos. Los tiempos de tratamiento y los medicamentos se relacionan aquí con el fin de mostrar su incidencia en el

comportamiento de atención de los pacientes en la cadena de abastecimiento de medicamentos.

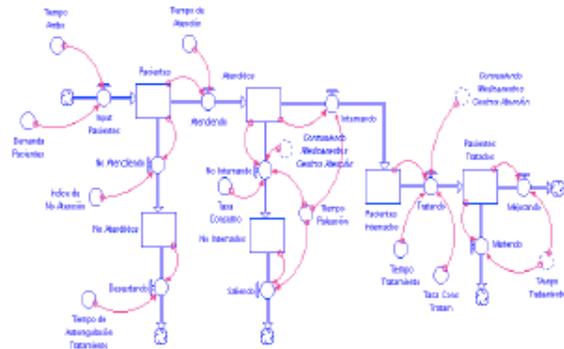


Figura 4. Sector de consumidores-Flujo de pacientes.

La Figura 5 ilustra la interacción entre los sectores de centros de atención médica y mayoristas. La importancia de estos sectores en la construcción del modelo radican en que muestran el impacto del flujo de medicamentos que se envía al atención y suministro de medicamentos.

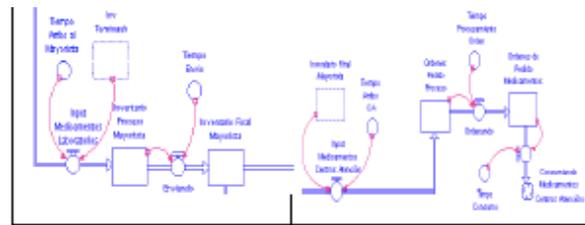


Figura 5. Sector de Mayoristas (derecha) y Centros de atención medica (izquierda)-Flujo de medicamentos.

El sector de laboratorio se presenta en la Figura 6. Se representa el flujo de medicamentos que fluyen a los distribuidores mayoristas y a las farmacias (minoristas). Este sector depende del tiempo de arribo de la materia prima empleada para la elaboración de medicamentos.

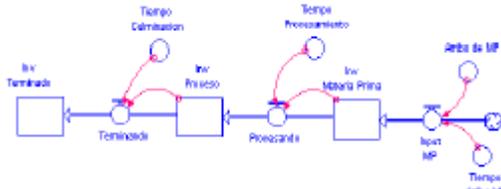


Figura 6. Sector de laboratorios-Flujo de medicamentos.

Finalmente, la Figura 7 muestra el sector de farmacias, que representa el distribuidor minorista de la cadena de abastecimiento de medicamentos.

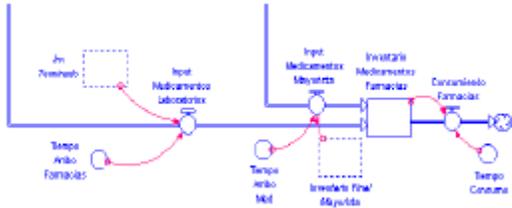


Figura 7. Sector de farmacias-Flujo de medicamentos.

El modelo presenta el flujo de medicamentos y pacientes de la cadena de abastecimiento de medicamentos. Este modelo permite simular el comportamiento de los tiempos de atención de pacientes y la incidencia en la cadena de medicamentos.

A continuación se presentan los resultados del modelo simulado. Los resultados que se muestran miden los efectos del tiempo de atención de pacientes, relacionado con la capacidad de atención y el flujo de medicamentos en la cadena de abastecimiento.

## VI. RESULTADOS

A. Efectos de tiempos de atención en salud La capacidad de atención en los servicios de salud se regula con el tiempo utilizado para atender a los pacientes. En esta vía a medida que disminuyen los tiempos de atención, aumenta el número de pacientes atendidos como se presenta en la Figura 7. Esto genera un efecto en los pacientes internados que disminuyen a medida que el tiempo estándar de atención es estable para el sistema (Figura 9). Por el contrario, cuando el tiempo de atención aumenta el efecto sobre la atención de pacientes genera un aumento en los pacientes no atendidos (Figura 8). Estos comportamientos regulados por los tiempos de atención requieren de un aumento en la capacidad e infraestructura de los hospitales y clínicas. Igualmente, el consumo de medicamentos aumenta de acuerdo al tiempo de recuperación de los pacientes internados.

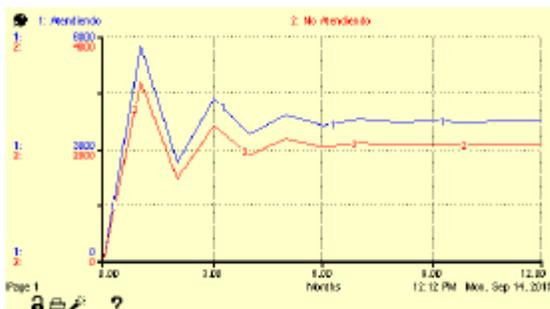


Figura 8. Comportamiento de atención de pacientes-tiempo de atención bajo.

La Figura 9 muestra el aumento de pacientes no atendidos efecto del incremento de tiempo de atención. Esto genera un mayor número de pacientes que desertan del sistema de salud y utilizan tratamientos auto-regulados (automedicación), estando expuestos a efectos colaterales no medidos en este artículo.

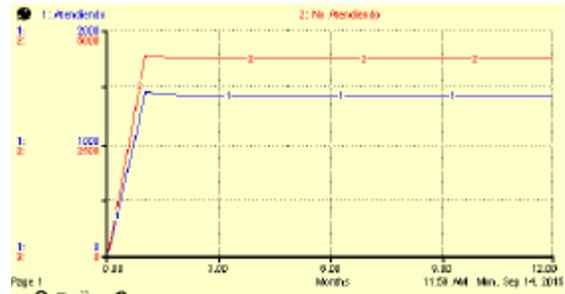


Figura 9. Comportamiento de atención de pacientes-tiempo de atención alto.

Los pacientes internados se incrementan en el sistema a medida que el tiempo de atención disminuye, en el caso contrario los pacientes internados disminuyen. Esto implica que los recursos que se utilizan para la atención cuando el tiempo de atención disminuye son esenciales para atender en el menor tiempo posible a los pacientes internados en un Hospital o Clínica. La Figura 10 muestra el comportamiento que presentan los pacientes internados con respecto al nivel de atención de pacientes.

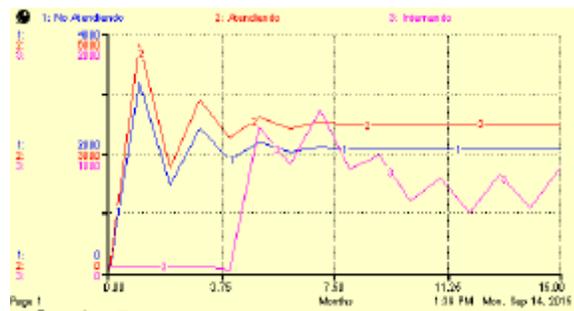


Figura 10. Efecto de atención de pacientes internados-tiempo de atención bajo.

A continuación, se presenta el comportamiento generado a partir del tiempo de consumo de medicamentos asociado a los centros de atención y su efecto en la atención de pacientes.

B. Efecto de tiempos de consumo de medicamentos El consumo de medicamentos se realiza de acuerdo al tiempo de exposición a un tratamiento o consumo de medicamento para una paciente internado. En la Figura 11 se muestran los efectos del tiempo de consumo de

un medicamento suministrado desde el centro de atención médica a los pacientes internados y tratados. Un consumo de medicamento a largo plazo genera un aumento en el flujo de medicamentos de tratamiento utilizado en los pacientes, lo que implica un balance entre los pacientes que pierden la vida y son mejorados por el tratamiento. El aumento en el tiempo de suministro de los medicamentos en el flujo de material de a cadena de suministro permite una atención a los pacientes internados y tratados.

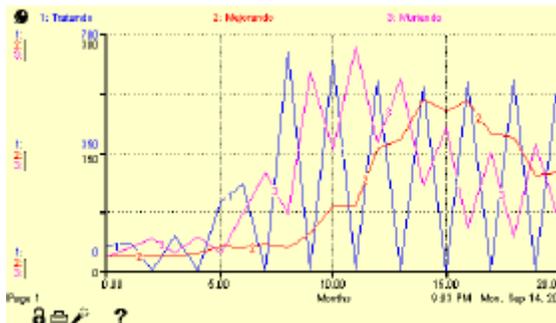


Figura 11. Efecto del flujo de medicamentos en los tiempos de atención de pacientes. (Consumo a largo plazo).

Por otra parte, el suministro de medicamentos que tiene una menor demora pero que su consumo es de corto plazo genera un aumento en las personas tratadas, aumentando el nivel de mortandad debido a la demora de la aplicación en el tratamiento. La Figura 12 muestra el comportamiento de del flujo de medicamentos a corto plazo en la cadena de suministro.

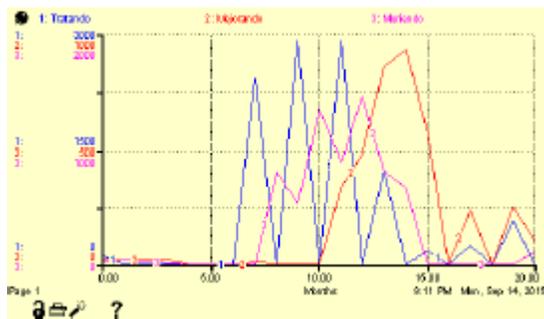


Figura 12. Efecto del flujo de medicamentos en los tiempos de atención de pacientes. (Consumo a corto plazo).

## VII. CONCLUSIONES

El flujo de medicamentos esta íntimamente relacionado con la atención de pacientes y por tanto con la calidad del servicio de salud. Los tiempos de atención de las instituciones de salud regulan el flujo de pacientes a los largo de la cadena de suministro de servicios de salud.

La relación de los actores y la sincronía de los tiempos de atención y despacho de medicamentos es esencial para los pacientes en tratamiento en la cadena de suministro de servicios de salud.

La disminución en los tiempos de atención permite que la atención y el mejoramiento de los pacientes aumenten. El aumento del tiempo de respuesta de los centros de atención médica para el suministro de medicamentos permite disminuir tasas de mortandad y mejorar la tasa de tratamiento y mejoramiento de los pacientes.

## VIII. TRABAJOS FUTUROS

Futuros trabajos conducen al análisis económico y político que implica el flujo de medicamentos, pacientes y su relación con los tiempos (demoras) en los servicios médicos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Minuto de Dios y al Programa de Ingeniería Industrial por la financiación del proyecto de Investigación en el marco de la convocatoria de semilleros de investigación titulado: "Análisis del comportamiento de los servicios de salud por medio de la dinámica de sistemas".

## REFERENCIAS

- [1] P. Koelling y M. J. Schwandt. Health Systems: A Dynamic System—Benefits From System Dynamics. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. Estados Unidos. 2005.
- [2] J. B. Homer y G. B. Hirsch. System dynamics modeling for public health: background and opportunities. American journal of public health, 96(3), 452-458. 2006.
- [3] J. Van Olmen, B. Criel, U. Bhojani, B. Marchal, S. Van Belle, M. F. Chenge y G. Kegels. The Health System Dynamics Framework: The introduction of an analytical model for health system analysis and its application to two case-studies. Health, Culture and Society, 2(1), 1-21. 2012.
- [4] T. C. Rust. Dynamic Analysis of Healthcare Service Delivery: Application of Lean and Agile Concepts. Application of Lean and Agile Concepts, Social Science & Policy Studies, Worcester Polytechnic Institute. Estados Unidos: Worcester Polytechnic Institute. 2013.

- [5] W. X. Tao. The Research of Health Insurance Fund Management Based on System Dynamics. Xidian University, 2010.
- [6] J. B. Steffen Bayer. Assessing the impact of a care innovation: telecare. *System Dynamics Review*. 2007.
- [7] C. P. Mark Paich. Pharmaceutical market dynamics and strategic planning: a system dynamics perspective. *System Dynamics Review*, Lexidyne, LLC, vol 27, No 147-63. 2011.
- [8] P. K. Schwandt. Health Systems: A Dynamic System—Benefits From System Dynamics. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*. 2005.
- [9] A. D. Geoff Roystona. Using system dynamics to help develop and implement policies and programmes in health care in England. *System Dynamics Review-Reino Unido*. 1999.
- [10] Y. S. Jin. Modeling Health Service Centers with Simulation and System Dynamics. *Tenth International Conference on Computer Modeling and Simulation*. 2008.
- [11] A. L. Jiaxiang Hu. Research on Resilience of Emergency Logistics Network Responding to Public Health Emergencies Based on System Dynamics. *Journal of Information & Computational Science*. 2015.
- [12] S. Sadat. Theory of Constraints for Publicly Funded Health Systems. Thesis PhD. 2009.
- [13] H.-L. S. Lin. Changes in the characteristics of new drug applications for the treatment and prevention of diabetes mellitus. Thesis MSc. Estados Unidos: Massachusetts Institute of Technology. 2007.
- [14] G. H. Jack Homer. Chronic illness in a complex health economy: the perils and promises of downstream and upstream reforms. *System Dynamics Review*. 2007.
- [15] J. Zhang. A system simulation model for type 2 diabetes in the saskatoon health region. Thesis MSc. 2011.
- [16] M.M. Herrera y J. Orjuela. Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas: un enfoque desde la dinámica de sistemas. *Ingeniería*, 19 (2), 63-84. 2014.



## 85. ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES EN LA AVENIDA REGIONAL DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN

PABLO ANDRÉS SALDARRIAGA ARISTIZÁBAL, LUIS ANTONIO QUINTERO ORTIZ

Universidad EAFIT

psaldar2@eafit.edu.co; lquinte3@eafit.edu.co

### ABSTRACT

One of the busiest roads in the city of Medellin is the "Regional Avenue" road that crosses the city from south to north. By this road there are two types of vehicles: public and private vehicles. This article consists of an analysis of traffic problems about this way, a vehicular congestion is present at different times of the day, and also it provides gas emissions that increase the environmental pollution. We will consider a stretch of the avenue and the number of vehicles passing through it, the famous traffic jams generated by public transport passing.

**KEY WORDS:** Emission, vehicular congestion, pollution, traffic model, toxic gases, dynamic systems.

### RESUMEN

Una de las vías más transitadas en la ciudad de Medellín es la "Avenida Regional", vía que atraviesa la ciudad en sentido sur-norte. El presente trabajo analiza la problemática vial que afronta esta vía, donde se presenta congestión vehicular en diferentes momentos del día, con diversos efectos como la contaminación ambiental y la disminución de tiempo social productivo. Para el análisis se estudia un tramo de la avenida.

**PALABRAS CLAVES:** Emisión de gases, congestión vehicular, tráfico, contaminación, modelo de tráfico, gases tóxicos, dinámica de sistemas.

### 1. INTRODUCCIÓN

La configuración de Medellín como un valle confinado por altas montañas, que tiene al río como eje natural, corriendo en sentido sur-norte, ha hecho que después de la canalización del río, la estructura vial se configure paralela al río o perpendicular al mismo. Por esta configuración una de las vías más transitadas de la ciudad es la Avenida Regional, la cual analizaremos en el presente trabajo en su tramo sur. Esta vía por ser principal, es una de las que tiene más flujo vehicular a lo largo del día. Pero los vehículos que transitan esta vía, son principalmente, con un porcentaje alto de vehículos de carga y en menor medida, buses de servicio público, provenientes del sur del Valle de Aburra, de los municipios colindantes. Este transporte público a lo largo de su recorrido, se detiene en la avenida para la carga o descargue de pasajeros.

Si bien se cuenta con bahías para que se detenga el transporte público a realizar el cargue y descargue de pasajeros, por falta de cultura y de una comprensión integral de los problemas ocasionados, se genera especialmente el problema de congestión, con grandes impactos para la ciudad. En razón a que la susceptibilidad depende del mayor o menor flujo, el cual se acentúa en las horas pico; se ocasionan especialmente en estas horas, los embotellamientos vehiculares, con diversas consecuencias, como: Incremento en el tiempo que invierten los conductores y pasajeros en el embotellamiento, reflejado en pérdida de tiempo laboral, de estudio, convivencia en familia y pérdida en calidad de vida (generada por el estrés de cada una de las personas). Contaminación por emisión de gases, y contaminación auditiva especialmente.

## 2. DESARROLLO DEL TRABAJO

De los factores predominantes que analizaremos se tiene la emisión de gases entre los que destaca el monóxido de carbono (CO), el cual en contacto con el aire se une rápidamente con el oxígeno. Contribuye a formar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual es uno de los gases causantes del efecto invernadero. Cuando se inhala el CO que es incoloro y no tiene olor, sus moléculas ingresan al torrente sanguíneo, inhibiendo la distribución del oxígeno. En bajas concentraciones produce mareos, jaqueca y fatiga, mientras que en concentraciones mayores puede ser fatal.

Otros residuos generados en los embotellamientos (o "trancones") son los hidrocarburos no quemados, que resultan cuando no se queman totalmente las moléculas del combustible en el motor o se queman parcialmente. Los hidrocarburos reaccionan en presencia de los óxidos de nitrógeno y la luz solar para formar ozono a nivel del suelo, que es uno de los componentes principales del smog. También ciertos hidrocarburos del tubo de escape son tóxicos, y tienen el potencial de causar cáncer.

El óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): se forman a partir del nitrógeno contenido en el aire procedente de la combustión; el cual puede llegar a provocar irritaciones de los órganos respiratorios. Siendo uno de los principales causantes del smog y la lluvia ácida. El smog se produce por la reacción de los óxidos de nitrógeno con compuestos orgánicos volátiles. En altas concentraciones, el smog puede producir dificultades respiratorias en las personas asmáticas, accesos de tos en los niños y trastornos en general del sistema respiratorio, mientras que la lluvia ácida afecta la vegetación y altera la composición química del agua de los lagos y ríos.

Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>): Se produce por la combustión de carbón, especialmente en usinas térmicas. Al igual que los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre es uno de los principales causantes del smog y la lluvia ácida. Está estrechamente relacionado con el ácido sulfúrico, que puede causar daños en la vegetación y ocasionar problemas respiratorios.

Material Particulado (PM): En esta categoría se incluye todo tipo de materia sólida en suspensión en forma de humo, polvo y vapores. Además, de reducir la visibilidad y la cubierta del suelo, la inhalación de estas partículas

microscópicas, que se alojan en el tejido pulmonar, es causante de diversas enfermedades respiratorias.

Los vehículos automotores que circulan por carreteras son aquellos como los automóviles, los camiones y autobuses diseñados para operar en carreteras públicas. En la mayor parte de las áreas urbanas los vehículos automotores contribuyen en gran medida a las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partículas, compuestos tóxicos del aire y especies que reducen la visibilidad.

Las emisiones de vehículos automotores consisten de un gran número de contaminantes resultantes de varios procesos diferentes como lo son: la producción de hidrocarburos evaporativos por medio del motor calentado, pérdidas mientras el automóvil está en operación, pérdidas mientras el automóvil está en reposo, recarga de gasolina y emisiones diurnas; también la producción de emisiones de escapes dados por los gases tóxicos mencionados anteriormente.

Las emisiones más comúnmente considerados son las del escape, que resultan de la combustión y se emiten por el tubo de escape del vehículo y las que provienen de varios procesos de emisión evaporativa.

Para el desarrollo del modelo nos basaremos en ciertos niveles que variarán con respecto al tiempo, los cuales son:

- Cantidad de carros
- Cantidad de transporte público
- Congestión vehicular
- Contaminación

Para la modelación, se realizará una toma de datos experimentales como lo son las tasas de vehículos, tanto particulares como de transporte público, que ingresan o salen del espacio en estudio. La cantidad de bahías que hay en la zona, el área del espacio, y la frecuencia del cargue y descargue de pasajeros dentro y fuera de las bahías por parte del transporte público. También se tendrá en cuenta los niveles de contaminación producidos por los vehículos. Anteriormente se mencionaron unos ciertos tipos de gases los cuales podían ser categorizados según el tipo de motor.

La gasolina es un combustible derivado del petróleo, el cual se obtiene por su destilación, cuando se utiliza en una máquina bien sincronizada y con suficiente aire, produce dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, agua (H<sub>2</sub>O) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y energía. Algunos compuestos tóxicos

se encuentran en la gasolina y se emiten al aire cuando ésta se evapora o pasa a través del motor como combustible no quemado. El benceno, por ejemplo, es un componente de la gasolina. Los vehículos emiten pequeñas cantidades de benceno en el combustible no quemado o cuando la gasolina se evapora.

Una cantidad significativa de benceno proviene de la combustión incompleta de compuestos de la gasolina, como el tolueno y el xileno, que son químicamente muy similares al benceno. Al igual que el benceno, estos compuestos se encuentran en forma natural en el petróleo y se concentran más cuando este se refina para producir gasolina de alto octanaje.

Los vehículos con motores Diésel además de emitir los gases que emite un motor a gasolina, emiten otro tipo de gases. El diésel es combustible derivado del petróleo produce, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, agua (H<sub>2</sub>O) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas (MP) y energía. Las emisiones de diésel son una mezcla de más de 400 partículas finas diferentes, vapores y materiales orgánicos tóxicos, que resultan cuando se quema el combustible diésel. Más de 40 sustancias químicas de las emisiones de diésel han sido consideradas como contaminantes tóxicos. Algunos de los contaminantes tóxicos del aire que se encuentran en las emisiones de diésel incluyen monóxido de carbono, dióxido de azufre, compuestos de cianuro, aldehídos, benceno, formaldehído, plomo inorgánico, compuestos de manganeso, compuestos de mercurio, metanol, fenol y arsénico.

Como consecuencia de la contaminación por la emisión de gases, no sólo se ve afectado el medio ambiente, sino también, de una manera muy directa se ve afectada la salud humana, por la exposición a los diferentes contaminantes producidos por los vehículos, a continuación haremos relación de los contaminantes y de los efectos observados en los humanos realizado por el centro panamericano de ingeniería sanitaria:

#### **Monóxido de carbono:**

- Disminución en la capacidad de realizar un ejercicio máximo en un corto tiempo en individuos jóvenes saludables.
- Disminución en la duración de ejercicio, debido a dolor en el pecho (angina), en pacientes con enfermedades al corazón.
- Disminución del consumo máximo de oxígeno y tiempo para realizar ejercicio, en individuos jóvenes saludables durante ejercicio fuerte.

- Disminución en la percepción visual y auditiva. Pérdida de la capacidad sensorial, motora y de vigilancia.
- Disminución en el consumo máximo de oxígeno durante el ejercicio fuerte, en individuos jóvenes saludables.
- Dolor de cabeza, decaimiento.
- Confusión, colapso durante el ejercicio.
- Pérdida de conciencia y muerte si la exposición continúa.
- Muerte.

#### **Material particulado:**

- Disminución capacidad respiratoria.
- Aumento de enfermedades respiratorias en ancianos y niños.
- Aumento de mortalidad en adulto mayor y enfermos.

#### **Óxidos de nitrógeno:**

- Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas, aumento de la hiperreactividad bronquial.
- Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.
- Individuos con bronquitis crónica: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.

### **3. EL MODELO**

Haciendo una breve explicación del diagrama causal: si partimos de la cantidad de vehículos, podemos ver que a medida que aumenta la cantidad de vehículos en la vía, aumenta tanto el gasto de combustible como la emisión de gases, y ambos factores aumentan los niveles de contaminación; si se aumentan los niveles de contaminación, por las causas que son mencionadas en el artículo, la calidad de vida de las personas disminuye lo que conlleva a la búsqueda de medidas normativas para reducir este problema. Si miramos el tiempo de espera de los vehículos en la vía podemos ver que esto disminuye el flujo vehicular aumentando la congestión vehicular, y al haber un aumento en la congestión vehicular se incrementan los niveles de contaminación; básicamente este es el diagrama que modela el problema de la emisión de gases en la avenida regional en la ciudad de Medellín.



Figura 1. Diagrama causal del modelo de contaminación vehicular

Para la estimación de gases, utilizaremos los factores de emisión de la unión europea medidos en g/Km; en nuestro modelo estimaremos la cantidad de gas emitido de CO, NOx e hidrocarburos, por lo cual la manera de estimar estos valores varía según la categoría del vehículo, ya sea diésel o gasolina y el cilindraje que tenga, hay que tener en cuenta que la manera en que se realizan estos cálculos es en la producción de gramos por kilómetro debido a la velocidad que lleve el vehículo, por lo que la variable de la cual dependerá el cálculo será de la velocidad.

La variable que juega el papel más importante en este problema es la contaminación, pues es inmediato ver que las causas por las cuales estos niveles de contaminación aumentan son por el aumento de carros en la vía, el gasto del combustible, y la congestión vehicular que representa una disminución de velocidad en la avenida. A continuación describiremos cómo se relaciona la velocidad y con los niveles de contaminación en la vía.

Según las ecuaciones que maneja la Agencia de Protección Ambiental, tendremos un efecto en los niveles de contaminación expresado en el siguiente diagrama:

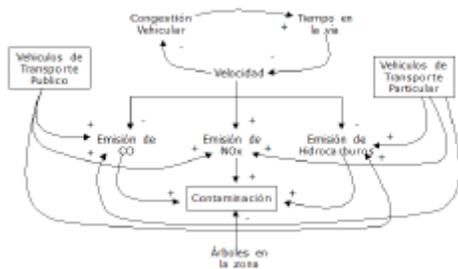


Figura 2. Diagrama de flujos y niveles del modelo de contaminación vehicular

Según la figura dos en el diagrama de flujos y niveles, evidenciamos que los factores que intervienen en la contaminación son la cantidad de vehículos que hay presentes, y además la velocidad promedio que se tenga al momento de atravesar el tramo que se está

analizando, según el modelo matemático que se tiene de referencia (Ver anexo), podemos distinguir que dependiendo del tipo de motor y cilindraje de cada vehículo, la velocidad juega un papel importante en la producción de las emisiones de gases. El comportamiento de las emisiones de gases por kilómetro es inversamente proporcional a la velocidad que se tenga dependiendo del contaminante que se esté analizando, lo que también implica que a los niveles de contaminación son directamente proporcionales a cada una de las producciones de gases de los vehículos. En trabajos analizados se recopila información sobre la estimación de factores de emisión de gases, y entre los que afectan la contaminación se mencionan los tres tomados en el modelo: Monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos (Díaz Gutiérrez, L. L., 2013). Según (Faiz et al, 1997), se sabe que las emisiones promedio de hidrocarburos y monóxido de carbono por vehículo-kilómetro tienden a incrementarse a velocidades bajas, como sucede en las ciudades con alta congestión, mientras que las emisiones de óxidos de nitrógeno tienden a incrementarse a altas velocidades y altas condiciones de carga.

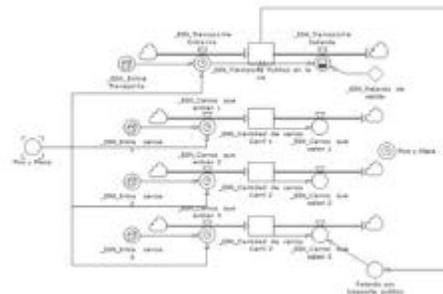


Figura 3. Modelo - Asignación de la cantidad de carros por carril

Presentando el modelo de dinámica de sistemas que se realizó, se observa en la figura 3 la manera como se realiza la asignación de los carros particulares y de transporte público a cada uno de los carriles en la vía, realizamos la división entre los carriles para poder asignar a los vehículos de transporte público uno de estos carriles y así este será el que se verá afectado por los trancones ocasionados por el cargue y descargue de pasajeros provenientes del sur de la ciudad.

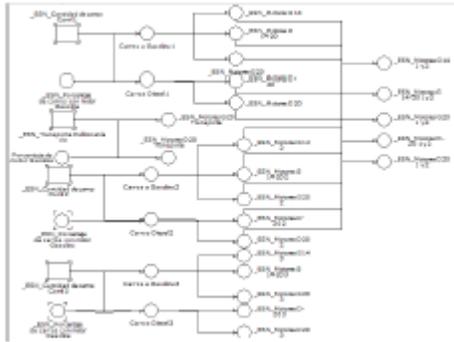


Figura 4. Modelo – Distribución de los tipos de motores según vehículo

En la figura 4 se ilustra la distribución que se realiza uniformemente a los tipos de motores que tendrán los vehículos en la vía, lo anterior se realiza para la realización de los cálculos de la producción de cada uno de los contaminantes, pues el modelo matemático que se tiene de referencia (Modelo anexo) hace la distinción dependiendo del tipo de motor y cilindraje del vehículo.

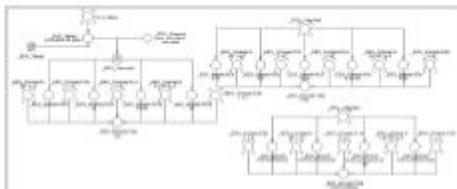


Figura 5. Modelo – Cálculo de emisiones carriles 1 y 2

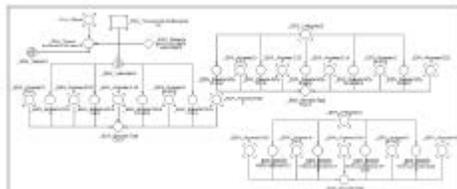


Figura 6. Modelo – Cálculo de emisiones carril 3

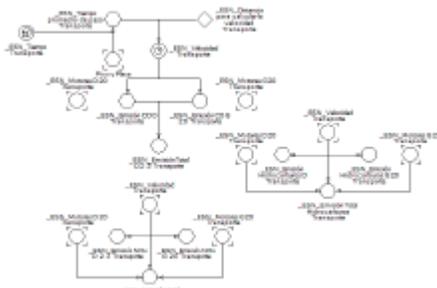


Figura 7. Modelo – Cálculo de emisiones del transporte público

Las figuras 5, 6 y 7 muestran la modelación para el cálculo de la cantidad de los gases emitidos por kilómetro, en cada uno de los carriles del tramo analizado, tanto por parte de los vehículos particulares como vehículos de transporte público. Los factores de

emisión que estamos manejando son en gramos por kilómetro. Se hace mención que para las fuentes móviles, los factores de emisión suelen expresarse en gramos de contaminante por kilómetro recorrido, gramos de contaminante por pasajero o por carga transportada y kilogramos de contaminante por cantidad de combustible quemado (Schulz et al, 2000).

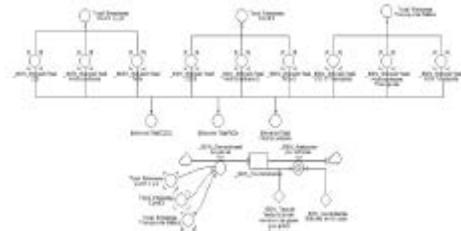


Figura 8. Modelo – Cálculo total de los niveles de contaminación

En la figura 8 se ilustra la cantidad total de cada una de las emisiones de los gases que se han trabajado en el modelo, y la forma cómo se modifica el nivel de contaminación por parte de los cálculos obtenidos anteriormente, y la reducción que se tiene por la cantidad de árboles en la zona.

En el trabajo de “Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulación de lineamientos técnicos para el ajuste de las normas de emisión” presentado en la facultad de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad de la Salle en el año 2006, se realizó una comparación entre el resultado de las emisiones obtenidas utilizando los factores de emisión seleccionados para el país y los establecidos por la Agencia Europea de Medio Ambiente. Este cálculo se refiere a los vehículos que están clasificados según las categorías establecidas por la Unión Europea.

El cuadro 1 presenta el resumen de emisiones totales por contaminante y factor de emisión para los vehículos de categorías establecidas por la Unión Europea durante el periodo de años comprendido de 1998 a 2005.

CONTAMINANTE	No. DE VEHICULOS	COLOMBIA-EURO (ton/Año)	EURO (ton/Año)
CO	567.772	27.595,63	71.858,11
HC	393.655	6.720,16	5.989,11
NOx	393.655	115.784,73	17.075,75
MP	29.808	2.108,92	962,45

Cuadro 1. Comparación de emisiones

También se realizó la comparación entre el resultado de las emisiones obtenidas utilizando los factores de emisión seleccionados para el país y los establecidos

por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. En la siguiente tabla se muestran las emisiones totales calculadas para cada uno de los contaminantes estimados, utilizando los diferentes factores de emisión.

CONTAMINANTE	No. DE VEHICULOS	COLOMBIA-EPA (ton/Año)	EPA (ton/Año)
CO	574.093	30.528,97	411.362,83
HC	574.093	7.168,11	39.413,47
NOx	574.093	4.223,16	108.264,76
MP	18.303	1.626,08	1.767,48

Cuadro 2. Comparación de emisiones

Ya habiendo establecido la manera como se calcula la emisión de gases en el modelo, no sobra mencionar que otros autores apoyan el cálculo de emisiones de gases con una función que tiene de parámetros la velocidad de los carros, como el artículo "Dynamic Congestion and Tolls with Mobile Source Emission" donde mencionan que un modelo para aproximar la emisión de gases y una clasificación en aproximaciones microscópicas, macroscópicas y mesoscópicas; el modelo parte de una tasa de emisión denominada  $e(t)$  de un vehículo en movimiento y además puede ser expresada como una función de la velocidad instantánea  $v(t)$  y de la aceleración  $a(t)$ , por lo que se expresa la emisión de gases como:

$$e(t) = f1(v(t), a(t))$$

Esta expresión es la aproximación microscópica de la emisión de gases por vehículo, haciendo mención de la existencia de diversos modelos de aproximación de gases en el mecanismo microscópico como los de Barth et al. (1996); Panis et al. (2006) y Rakha et al. (2004). En el modelo macroscópico se expresa el promedio de la tasa de emisión  $\bar{e}(t)$  en un segmento como función de la densidad promedio  $\bar{\rho}$  y la velocidad promedio  $\bar{v}(t)$  en el mismo segmento, de lo cual la expresión de dicho modelo es:

$$\bar{e}(t) = f2(\bar{\rho}(t), \bar{v}(t))$$

Uno de los argumentos de la función de emisión depende de la velocidad promedio, Rose et al. (1965) muestra una relación entre la velocidad promedio y la emisión de gases medida en libras sobre kilogramo, para expresar la relación, se denota  $e_x$  como la emisión por unidad de distancia, presentamos entonces la relación cómo:

$$e_x = b_1 v^{-b_2}$$

Donde  $b_1$  y  $b_2$  son parámetros que dependen del tipo de vehículo y del medio ambiente. Kent y Mudford (1979) recolectaron datos de patrones de conducción en Sydney y encontraron que la emisión de óxidos de nitrógeno  $e_{\tilde{x}}$  puede ser modelada por:

$$e_{\tilde{x}} = b_1 + b_2/v$$

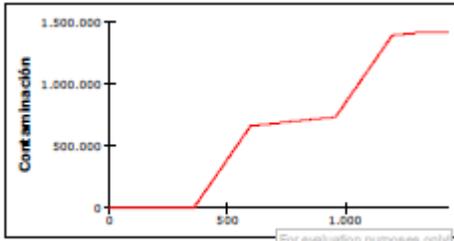
Una de las maneras más efectivas de reducir los niveles de contaminación por la emisión de gases se la debemos a los árboles, pues reducen considerablemente la contaminación atmosférica (Dióxido de Nitrógeno NO<sub>2</sub>; Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>; Monóxido de Carbono CO; Ozono O<sub>3</sub> y Partículas PM-10). Un estudio reciente de la ONU para la ciudad de Chicago estima que los árboles eliminan 5.575 toneladas de contaminantes atmosféricos por año. Según la EPA y la información que recolectó el departamento Forestal de Chicago, se tiene una siembra de un promedio de 5000 árboles, por lo que a partir de esto realizaremos los respectivos cálculos que contribuirán a la reducción de emisión de gases en una hora del día.

#### 4. RESULTADOS

Para el desarrollo del modelo, se tuvo en cuenta toda la información recogida que ha sido presentada a lo largo del artículo; los niveles principales que analizamos en nuestro trabajo son la cantidad de carros que se encuentran en la vía y los niveles de contaminación que se da en cierto momento de la simulación. Según datos experimentales que fueron recolectados en los días previos a la realización del modelo, se encontró que en promedio transitan por la avenida regional en una hora normal alrededor de 7300 carros.

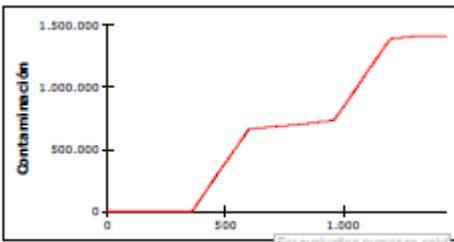
Según el modelo desarrollado, reiterando que los cálculos se realizan respecto a la velocidad promedio de cada uno de los vehículos, con lo cual se calculan las respectivas simulaciones. Estas las corremos para un día estableciendo lo que pasa en una resolución de minuto. Identificamos el papel del servicio público, el cual según la zona de descargue que utilice hace que aumente el tiempo en la vía de los vehículos que por allí transitan y por ende disminuye la velocidad de los vehículos en su carril. También tenemos en cuenta la media del pico y placa en la ciudad, lo que vuelve el tránsito vehicular más lento en la zona.

Según lo anterior se obtienen los siguientes resultados de la producción del contaminante medido en gramos por kilómetro a lo largo de un día.



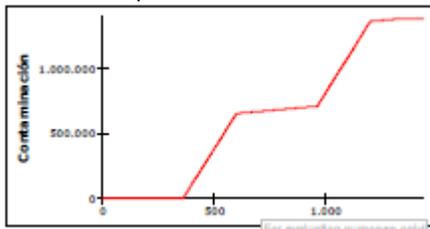
Gráfica 1. Contaminación diario en condiciones normales.

Este viene siendo el comportamiento de los niveles de contaminación durante la semana, ahora bien si pensamos en medidas para dar solución a esto como lo sería el aumento de árboles en la zona este sería el nuevo comportamiento:



Gráfica 2. Contaminación en día promedio con arborización.

Lo que a simple vista nos lleva a concluir que la plantación de nuevos árboles no es una solución viable, pues no es notorio el cambio en los comportamientos de las dos gráficas anteriores, ahora bien, si pensamos en la solución de construcción de bahías para que los vehículos de servicio público no obstruyan la vía este sería el nuevo comportamiento.



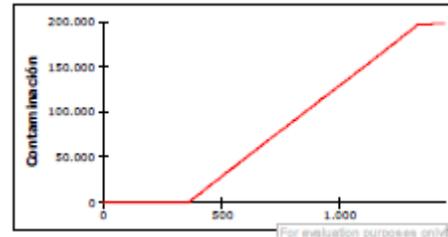
Gráfica 3. Contaminación diaria con construcción de bahías

Al igual que en los casos anteriores, no es una solución que sea efectiva contra los altos niveles de contaminación que se manejan, aunque se reduce, no en una gran medida.

Ahora bien, si miramos el otro factor que produce una alta congestión vehicular en la avenida regional son las famosas "horas pico", donde el tránsito vehicular es más lento por lo que podríamos considerar que sería el factor que causa que la emisión de gases aumente. La pregunta es, ¿Qué pasaría si la velocidad de tránsito puede ser normal para las horas pico?, es decir, que en estas

horas el tránsito es igual al de las horas en las que no se tiene trancones.

El comportamiento de los niveles de contaminación se muestra en la gráfica 4.



Gráfica 4. Comportamiento de la contaminación si se puede mantener la velocidad de horas sin trancón en las horas con trancón.

El nivel de contaminación sigue un comportamiento casi lineal en su totalidad, pero a comparación de las gráficas presentadas anteriormente, podemos concluir que efectivamente la baja velocidad que se maneja en la avenida en las horas pico son las causales de los altos niveles de contaminación en el día.

### 5. ANEXOS.

A continuación presentamos el modelo matemático que se tuvo en cuenta en el modelo para el cálculo de las emisiones de gases.

#### Modelo matemático de referencia

Sea:  $(v)$  Como la función que representa la producción de monóxido de carbono.

$\pi^*(v)$  Como la función que representa la producción de óxidos de nitrógeno.

$\pi''(v)$  Como la función que representa la producción de hidrocarburos.

#### Emisión de Monóxido de carbono: Vehículos con motor de gasolina

Cilindraje <1.4 L  
 $(v) = 9.846 - 0.2867v + 0.0022v^2$  (1)

Cilindraje entre 1.4 y 2.0 L  
 $(v) = 9.617 - 0.245v + 0.001728v^2$  (2)

Cilindraje > 2.0 L  
 $(v) = 12.826 - 0.2955v + 0.0017v^2$  (3)

Vehículos con motor diésel  
 $(v) = 5,4130v^{-0,574}$  (4)

**Emisión de Óxidos de nitrógeno:  
Vehículos con motor de gasolina**

Cilindraje <1.4 L  
 $\pi^*(v)=0.5595-0.01047v+10.8 \times 10^{-5}v^2$  (5)

Cilindraje entre 1.4 y 2.0 L  
 $\pi^*(v)=0.526-0.0085v+8.54 \times 10^{-5}v^2$  (6)

Cilindraje > 2.0 L  
 $\pi^*(v)=0.666-0.009v+7.55 \times 10^{-5}v^2$  (7)

Carros con motor diésel  
 Cilindraje < 2.0 L  
 $\pi^*(v)=0.918-0.14v+0.0010v^2$  (8)

Cilindraje > 2.0 L  
 $\pi^*(v)=1.331-0.018v+0.000133v^2$  (9)

**Hidrocarburos:  
Vehículos con motor de gasolina**

Cilindraje <1.4 L  
 $\pi''(v)=0.628-0.0137v+8.52 \times 10^{-5}v^2$  (10)

Cilindraje entre 1.4 y 2.0 L  
 $\pi''(v)=0.449-0.0888v+5.21 \times 10^{-5}v^2$  (11)

Cilindraje > 2.0 L  
 $\pi''(v)=0.5086-0.0072v+3.3 \times 10^{-5}v^2$  (12)

Vehículos con motor diésel:  
 $\pi''(v)=4.61v^{-0.937}$  (13)

## 6. CONCLUSIONES

- Evidentemente podemos ver que poco a poco los niveles de contaminación están incrementando, esto mirando sólo en un pequeño tramo de la avenida, de lo cual deja mucho que desear de nosotros como habitantes, pues estamos destruyendo el ambiente en el que vivimos.
- Podemos concluir que por más que la plantación de árboles contribuya con el medio ambiente la medida en las que los árboles reducen los niveles de contaminación no son significativos, en cambio podemos ver que la restricción del paso de vehículos es lo que realmente puede ser una temporal solución a esta problemática.
- La implementación de políticas viales permite que se vea una reducción notoria en los niveles de contaminación, ahora bien no hay que olvidar que

estás políticas tienen efecto tanto para el ambiente como para nosotros los humanos, pues recordemos que gracias a la emisión de gases se producen diferentes enfermedades respiratorias.

- Se debe generar una reflexión, pues las medidas que se deben tomar son de índole normativa, aunque si no se toman cartas en el asunto cada vez estos niveles irán aumentando, pues la producción de vehículos seguirá aumentando. Queda cómo visión para las agencias o fábricas, crear vehículos en las que su producción de gases tóxicos sean mínimos.

## 7. REFERENCIAS

- <http://www.aficionadosalamecanica.net/emisiongas-es-escape.htm>.
- Assortative pairing and life history strategy - a cross-cultural study.
- <http://www.epa.gov/hiri/resources/pdf/SmartgrowthSpanish.txt>
- <http://www.arbolesymedioambiente.es/Pagina10.html>
- Borrador: Regulación ambiental sobre la contaminación vehicular en Colombia: hacia dónde vamos?(2006)
- Universidad de la Salle – Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, "Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulación de lineamientos técnicos para el ajuste de las normas de emisión" (2006)
- Kent, J.H. & Mudford, N.R. (1979). Motor vehicle emissions and fuel consumption modeling. *Transportation Research Part A*, 13(6),395-406.
- Rose, A.H., Smith, R., McMichael, W.F. & Kruse, R.F. (1965) Comparison of auto exhaust emissions in two major cities. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 15(8), 362-371.
- Terry L. Friesz, Ke Hanb, Hongcheng Liu, Tao Yao, *Dynamic Congestion and Tolls with Mobile Source Emission* (2013) 819 – 820
- Sawyer, R. F., Harley, R. A., Cadle, S. H, Norbeck, J. M., Slott, R., Bravo, H. A., 2000. *Mobile Sources critical review: 1998 NARSTO assessment*. *Atmospheric Environment*. 34 (2000)
- Faiz, A., Weaver, C., Walsh, M., 1997 *Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions*. World Bank.
- Díaz Gutiérrez, L. L. (2013). *Estimación de factores de emisión para vehículos automotores de gasolina* (Doctoral dissertation).

## 86. MODELO DE MICRO-HUERTA CASERA INTEGRANDO DINÁMICA DE SISTEMAS Y OPTIMIZACIÓN

VALENTINA CHAPARRO MUÑOZ, LUIS ANTONIO QUINTERO ORTIZ

Universidad EAFIT

vchaparr@eafit.edu.co; lquinte3@eafit.edu.co

### RESUMEN

El presente trabajo desarrolla una simulación matemática aplicada a la selección óptima de la estrategia de manejo de una huerta familiar autosuficiente, que permita satisfacer las necesidades nutricionales básicas de un grupo familiar, teniendo en cuenta el número de integrantes, las necesidades alimentarias a cubrir, y la comercialización de los excedentes para usar estos ingresos adicionales como fuente de complementación alimentaria. La modelación utilizada tiene en cuenta las peculiaridades del tipo de cultivo a utilizar, cuya selección depende de las características climáticas de Medellín.

**PALABRAS CLAVE:** Huerta familiar, seguridad alimentaria, requerimientos nutricionales básicos, huerta autosostenible, microhuerta.

### ABSTRACT

This article shows the implementation of a mathematical model to the management of a small scale family farm. It encompasses the conceptualization, development and implementation of mathematic simulation tools in order to find the optimal selection of management strategies needed to achieve the self-sufficiency in a small scale family farm, thus allowing a typical low-income family to satisfy its basic nutritional needs. This model takes into account the family size, nutritional needs to be fulfilled, the selection of five basic cultures that can be grown in Medellín, the marketing of the excess production in order to get some additional income that will complement the basic needs for complete nutrition, all the costs involved (seeds, fertilizers, watering, etc) and climatic characteristics of the area.

**KEY WORDS:** Family farm, nutritional safety, basic nutritional requirements, sustainable small scale farming

### 1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo aborda el tema de la sustentabilidad de una huerta familiar, desde la Dinámica de Sistemas, cuyo objetivo principal es el de implementar una alternativa que permita mejorar las condiciones de vida a las familias que habitan zonas periféricas de la ciudad de Medellín y que disponen de poco espacio para desarrollar una huerta casera. En este sentido se busca la combinación óptima de cultivos desde el análisis de tres criterios de interés: productividad de la cosecha, rentabilidad y aporte nutricional.

### 2. ANTECEDENTES

El desplazamiento en Colombia es un fenómeno que ha estado presente en la historia del país, y se ha incrementado desde 1985 con la agudización del conflicto armado. Desafortunadamente, el desplazamiento ha sido ocasionado por múltiples agentes y para satisfacer diferentes intereses, lo cual dificulta el proceso de identificación de culpables, o trabajar en la implementación de medidas preventivas. A lo largo de la historia, las disputas por el poder territorial, económico y militar han afectado de manera particular a las familias campesinas. Estas poblaciones han sufrido pérdidas no sólo materiales, sino también en cuanto a su dignidad, ya que este conflicto les ha

generado un deterioro apreciable en su calidad de vida y les ha impedido alcanzar un desarrollo integral y social. Esta condición de violencia generalizada ha sido la causante, para que gran cantidad de familias hayan abandonado sus hogares, significando una ruptura con sus lazos familiares, su patrimonio en la tierra y su cultura, para encontrarse con la realidad de las urbes, donde llegan en busca de oportunidades, de seguridad y de mejores condiciones de vida.

Colombia es un país que tiene gran parte de su población en la franja de la pobreza (28.5%) y la pobreza extrema (8.1%) quienes no gozan de seguridad alimentaria. (DANE, 2014). Como consecuencia, gran parte de las familias con bajos ingresos localizadas en las áreas periurbanas de las ciudades se ven afectadas, ya que la mayor parte de sus ingresos es destinada a la compra de alimentos, y cuando los precios de estos suben o sus ingresos bajan, resultan afectadas. Por ende, las familias se ven forzadas a reducir la calidad de su alimentación comprando solo alimentos baratos de rápido consumo, ya que su finalidad primera es alimentarse, no nutrirse. Sin embargo, para estas familias se ha propuesto una estrategia encaminada a fortalecer su seguridad alimentaria y nutricional, mediante el cultivo de sus propias hortalizas, en micro huertas que se pueden construir al interior de sus hogares.

### **Seguridad Alimentaria**

Según los últimos índices de hambre realizados por la FAO, la inseguridad alimentaria es una realidad para millones de personas en el mundo; la gran mayoría habitantes de los países en vías de desarrollo. Aunque los porcentajes han mejorado en las últimas décadas, el 13.5% de la población, o una de cada ocho personas, sufre de desnutrición crónica en estos países. (FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations) (FAO, Hunger Map, 2014)

Aquí se evidencia la importancia de la seguridad alimentaria que hoy en día es un derecho, ya que una persona es competente y capaz en la medida que tiene satisfechas sus necesidades básicas, entre las cuales están los buenos hábitos alimenticios. Para dar soporte a personas que pueden llegar a desarrollar en forma plena sus capacidades intelectuales y productivas, las cuales pondrán al servicio del país.

### **Las hortalizas y su papel en el aporte a la sana alimentación**

En los últimos años se ha descubierto el aporte nutricional que cada tipo de alimentos brinda al mejoramiento de las condiciones de salud, lo que ha incidido en el aumento de alimentos saludables, donde las hortalizas son protagonistas.

Para contextualizarnos en Colombia, el área hortícola del país desde el año de 1996 hasta el año 2004 se mantuvo relativamente estable, alrededor de 95.000 ha, con una producción cercana a las 1.500.000 toneladas anuales.

Esta producción se encuentra regionalizada, según el lugar que garantiza a la planta las condiciones idóneas para vivir. Esencialmente están localizadas en los llamados "Cinturones hortícolas", que se encuentran cerca de las ciudades, dado que la rápida perecibilidad de estos productos, ha forzado a los productores a localizarse cerca a los mercados.

### **Importancia del consumo de las hortalizas**

En muchos países especialmente en Europa, los productos hortícolas ocupan el primer lugar en la dieta diaria, la razón es el conocimiento que se tiene del alto contenido de vitaminas, minerales, carbohidratos, proteínas y grasas que tienen. La OMS prevé que si se aumenta lo suficiente el consumo de frutas y verduras, se podrían salvar al año cerca de 1.7 millones de vidas.

Se calcula que la ingesta insuficiente de frutas y verduras causa en todo el mundo aproximadamente un 19% de los cánceres gastrointestinales, un 31% de las cardiopatías isquémicas y un 11% de los accidentes vasculares cerebrales.

Un informe de la OMS y la FAO publicado recientemente recomienda como objetivo poblacional la ingesta de un mínimo de 400 g diarios de frutas y verduras (excluidas las patatas y otros tubérculos feculentos), para prevenir enfermedades crónicas como las cardiopatías, el cáncer, la diabetes o la obesidad, así como para prevenir y mitigar varias carencias de micronutrientes, sobre todo en los países menos desarrollados.

### **Consumo nacional**

Tomando como referencia las estadísticas presentadas en los documentos del programa "Bogotá sin hambre", se observa el comportamiento de la demanda alimenticia, donde se confirma un bajo consumo de

hortalizas contra un alto consumo de cereales, tubérculos y papa.

Se considera muy bajo el consumo de hortalizas del colombiano promedio, al compararlo con otros países. Algunas de las razones que originan el bajo consumo, son: el desconocimiento de las ventajas nutricionales y de salud que conlleva consumir hortalizas; la falta de inocuidad que provoca rechazo al consumirlas (aguas de riego contaminadas, exceso de agroquímicos, etc.), y la falta de cultura una culinaria que afiance su consumo.

Según reportes del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), en los sectores de más bajos niveles de ingreso, se registran deficiencias en el consumo de alimento, especialmente los de origen hortícola, lo cual ha generado severas deficiencias de vitaminas y minerales.

Indicadores de la producción hortícola en Colombia  
Por otro lado la producción de hortalizas en Colombia, se ha caracterizado por la alta incidencia de plagas, la degradación del medio ambiente y el mal manejo de los suelos, que en su conjunto y en el tiempo han venido influyendo negativamente en los rendimientos y en la calidad de la producción. Adicionalmente, en muchos casos, el agua disponible para el riego de los cultivos de hortalizas se ha visto expuesta a la contaminación, por diferentes fuentes como alcantarillas o arrastre superficial de residuos, llegando a contaminar los cultivos en algunos casos con elementos pesados y organismos patógenos, afectando su inocuidad. La producción de hortalizas ha demandado un alto consumo de agroquímicos, sobrepasando las cantidades usualmente recomendadas de fertilizantes, insecticidas y fungicidas, con la expectativa de obtener una mayor producción (Corpoica, 2007).

“La rentabilidad y eficiencia del sistema es cada vez menor, debido al incremento de los costos de producción ocasionados por el alto uso de insumos, ya que entre el 25 % y el 50 % de los costos son generados en el control fitosanitario” (Corpoica, 2007). Es importante por tanto, avanzar en alternativas como: 1) producción limpia, 2) manejo integrado del cultivo, 3) manejo integrado de plagas y enfermedades.

Es de gran importancia tanto para los productores como para los consumidores y el medio ambiente, conocer algunas alternativas para lograr cultivos que sean rentables y asimismo que reduzcan el uso de

agroquímicos que puedan amenazar la salud de los consumidores. Algunas alternativas son

### 3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto propone analizar la implementación de Microhuertas en los hogares de familias pobres, con el fin de fortalecer su seguridad alimentaria y nutricional, mediante el cultivo de hortalizas. Esta alternativa tiene muchas ventajas para las familias, por un lado el cultivo de hortalizas no exige demasiados recursos, se pueden cultivar en un área pequeña y a bajo costo, ya que la inversión en fertilizantes y sistemas anti-plagas son casi nulos. Las estrategias del cuidado de las huertas son totalmente orgánicas, en lugar de fertilizante se utiliza compostaje, que la misma familia hace a partir de los desechos del hogar, y en cuento a las plagas se utilizan insectos benéficos y plantas con propiedades antisépticas. Por otro lado, la micro huerta puede producir hortalizas todo el año, lo que le permite a las familias diversificar su alimentación, así como tener un ingreso adicional con la comercialización de los excedentes de producción, dándoles la oportunidad de invertir en otros alimentos con más aporte energético como la carne.

Las hortalizas seleccionadas para la validación del modelo son propias del clima de la ciudad de Medellín, y pertenecen a diferente clasificación taxonómica, para que en el proceso de rotación no estén consumiendo el mismo tipo de nutrientes y unas generen para las otras oposición hacia las plagas, mediante la biodiversidad de la huerta, al tiempo que van a aportar una mejor y más variada nutrición a la familia. Sin embargo, el factor más importante en este modelo es el tiempo que tarda cada hortaliza para completar su ciclo de vida, conjugado con el tiempo estipulado para la rotación de cultivos y la cosecha, porque en la medida que se puedan organizar estos tiempos, se tendrá una mejor utilización del terreno, que nos permita optimizar la producción, en un espacio limitado.

### 4. ESTADO DEL ARTE

La programación matemática ha sido el punto de partida para resolver el problema de optimización de cosechas y de la rotación de cultivos. Una contribución al desarrollo de este problema ha sido a partir de los algoritmos evolutivos, esta metodología hace un balance entre formulaciones matemáticas de planeación de problemas de cosecha e implementación efectiva de modelos de decisión de cosechas (Abayomi,

2014). Así mismo, desde el marco de la programación matemática se ha postulado que los requerimientos de las sucesiones de cultivos, se pueden tomar como restricciones lineales en un modelo de producción agrícola (Haneveld y Stegeman, 2004). Un modelo de decisión de Markov es una alternativa que se ha implementado para resolver este problema, adicionalmente utilizando los métodos de programación dinámica desarrollados por Richard Bellman para analizar el modelo (Cai et al, 2011).

Diferentes softwares se han diseñado con el propósito de resolver este problema abordándolo desde distintos enfoques, ROTOR optimiza la administración del nitrógeno para cualquier cultivo evitando su aplicación artificial y facilitando el modelado de cultivos simultáneos (Bachinger y Zander, 2007). MEACROS simula distintos escenarios basados en sistemas de cultivos alternativos, con el propósito que el usuario pueda analizar las opciones y tomar decisiones más acertadas (Mazzeto y Bonera, 2003). APSIM cuenta con módulos que simulan los procesos biofísicos del sistema agrícola teniendo en cuenta el buen manejo de los recursos y las consecuencias a largo plazo en los suelos (Keating et al, 2003). STICS es un modelo que se adapta a distintas cosechas ya que simula los gastos de agua y nitrógeno de cualquier cultivo y los mantiene en balance (Brisson et al, 2003). Simile, a diferencia de otros modelos tiene una interfaz que es accesible a usuarios que no programen, este modelo combina el paradigma de los sistemas dinámicos con el paradigma de la programación orientada a objetos (Muetzelfeldt et al, 2003).

A Review of Bio-Economic Models de Douglas R. Brown es un paper que identifica características comunes y fallas de los modelos que se han realizado hasta el momento con mayor o menor éxito en el intento de dar con un enfoque integrado del modelo bio-económico ya que han sido pocos los que han logrado modelar tanto el sistema agro-ecológico como el proceso de toma de decisiones (teniendo en cuenta precios y los rendimientos de producción) de una forma integrada (Brown, 2000).

## 5. LA METODOLOGÍA Y EL MODELO

Para el desarrollo de este modelos de la huerta familiar se tendrá en cuenta la selección de hortalizas de rápida vegetación, las cuales recibirán el máximo cuidado basado en prácticas de origen agroecológico y manteniendo el suelo constantemente ocupado para obtener el mayor provecho. Las hortalizas se

seleccionarán de tal manera que sean apropiadas para el lugar de siembra y teniendo en cuenta el aporte nutricional que le darán a la familia, así como un análisis económico previo, donde se compare la producción de la huerta, con el gasto que representaría este si se tuviera que comprar en el mercado, para garantizar que la cosecha de las hortalizas sí genera un ahorro.

Las cinco hortalizas seleccionadas son: cebolla junca, tomate chonto, zanahoria, repollo y frijol, teniendo en cuenta los datos recolectados, donde se estudia la clasificación de las especies, taxonómica, por clima y por parte comestible, de igual forma son considerados su aporte nutricional y el beneficio económico que traerán a la familia al resultar más rentable producir las hortalizas que comprarlas. Estas hortalizas pertenecen a clasificaciones taxonómicas distintas, para el mejor beneficio entre las diferentes especies y su cultivo se puede hacer en las condiciones climáticas de la ciudad de Medellín.

Las hortalizas son variadas, de esta forma en conjunto hacen un aporte rico en vitaminas, minerales y fibra a las necesidades alimenticias de la familia.

A continuación se ilustra el diagrama causal planteado para estructurar el modelo:

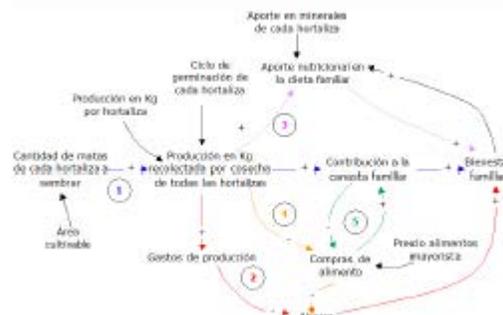


Figura 1. Diagrama causal del modelo

El área cultivable de la huerta es muy importante ya que restringe la cantidad de matas que se pueden sembrar en la huerta. En la ciclo uno se visualiza que cuanto más cantidad de plantas se siembre, mayor será la producción en kilogramos, y mientras mayor sea la producción, más generosa será la contribución a la canasta familiar, lo que a su vez generará un impacto positivo en el bienestar familiar.

Luego, en la parte dos, se puede observar que mientras más producción en kilogramos de hortaliza haya, mayores serán los gastos de producción, los que a su vez afectarán negativamente el ahorro de la familia, y los bajos niveles de ahorro, disminuirán el bienestar

familiar. Sin embargo, es importante mencionar que los gastos de producción en realidad causaran un efecto bajo, ya que estos gastos son considerados insignificantes en el modelo.

En la parte tres del diagrama una vez más la producción en kilogramos de hortalizas causa un efecto positivo, mientras más producción haya, mayor será el aporte nutricional en la dieta familiar, lo cual contribuirá al bienestar de la familia ya que se está mejorando su seguridad alimentaria.

En la parte cuatro del diagrama se puede observar que a mayor producción en kilogramos de alimentos, menor será la necesidad de comprar alimentos para la familia, por lo cual el ahorro será mayor, y a mayor ahorro mayor bienestar para la familia.

En la parte cinco del diagrama se analiza como la contribución a la canasta familiar afecta a la necesidad de hacer compras de alimentos, mientras mejor este la canasta, menor será la necesidad de comprar alimentos, pero si la contribución a la canasta familiar es pequeña, esto se deberá compensar con compras de alimentos, y mientras más compras de alimentos realice la familia menor será el ahorro y menor será el bienestar familiar.

**5.1. DESARROLLO DEL MODELO**

La dinámica de sistemas fue una herramienta fundamental para la construcción del modelo de la huerta y para el análisis de la evolución de las siembras a lo largo del tiempo.

Para la modelación de la siembra de las cinco hortalizas en la huerta se analizaron tres criterios: Productividad, rentabilidad y aporte nutricional en vitaminas y minerales. Cada uno de estos criterios se estudió y modeló individualmente, puesto que incluir tres criterios en un mismo modelo además de tener un alto grado de complejidad, no sería muy concluyente ya que se están comparando tres características muy distintas. De aquí que se optara por modelarlas de manera separada, para decidir de acuerdo con el criterio que se considere de mayor prioridad o si se precisa combinar varios criterios predominantes.

En la tabla 1 se muestra la información básica sobre las cinco hortalizas seleccionadas para la modelación de productividad y eficiencia de este trabajo.

Tabla 1. Información básica de las hortalizas consideradas en este estudio (Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas, 2015)

Cultivo	Producción	Separación entre semillas		Área Planta	Peso de Producción de Planta	Tempo de Germinación Cosecha	Precio de Venta Mavertina
	[kg/m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[kg]	[días]	[\$/kg]	
Tomate	2.3	0.5	0.25	0.625	140	1300	
Repollo	4.7	0.4	0.16	0.752	103	450	
Zanahoria	3.3	0.2	0.04	0.14	120	750	
Cebolla	1.574	0.3	0.09	0.34166	120	1200	
Frijol	0.12	0.25	0.0625	0.06075	83	8200	

La siguiente tabla presenta información básica sobre cada planta de hortaliza, necesaria para la modelación del cultivo.

Tabla 2. Contenido nutricional por 1 kg

Cultivo	Proteína		Carbohidrato		Grasa		Vitamina B1		Ácido Ascórbico Vitamina C	
	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
Tomate	9000	120.2	219.3	6.7	100.8	2034.8	65.4	0.5	37.7	
Repollo	18000	472.4	333.9	6.9	181.8	2482.4	337.3	0.7	202.4	
Zanahoria	7000	133	350	5	120	3200	690	0.4	59	
Cebolla	12000	278	310	2.1	180	1460	40	0.46	54	
Frijol	91000	312.8	1848.9	18.5	476.3	4836.2	2156.3	5.3	8	

Los únicos costos considerados en la presente modelación son los de las semillas. La rentabilidad de las hortalizas consideradas se calcula a partir de los valores medios de los precios, en un periodo de tiempo y de acuerdo a su transacción en la Central Mayorista de Antioquia, para el año 2015.

Para la modelación de la siembra de las cinco hortalizas en la huerta se utilizó el software de Powersim Studio 7, para simular la siembra de las posibles combinaciones de cultivos que ocuparan un área de un metro cuadrado, con la condición que cada combinación incluyera al menos una hortaliza de cada una de las cinco variedades. La simulación se realizó para un periodo de 2000 días, lo que es un poco más de cinco años, para que a partir del análisis de los resultados del modelo, se pudieran identificar las combinaciones que mejor satisfacen los criterios de productividad, rentabilidad y aporte nutricional. De este modo el modelo es una herramienta para tener un mejor criterio de decisión y darle unas características particulares al cultivo en orden a obtener unos resultados deseados. De esta forma el trabajo desarrollado plantea la integración entre Dinámica de Sistemas y optimización dinámica, lo cual nos permite obtener la mejor combinación de cultivos desde el análisis de los diferentes criterios considerados, en términos el tiempo. A continuación se presenta el modelo desarrollado:

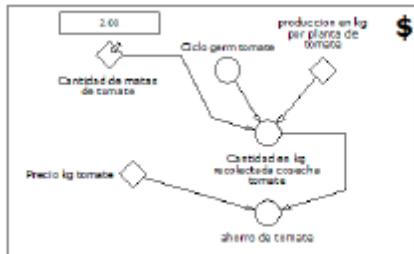


Figura 2. Ahorro total generado por el tomate

En la figura 2 la cantidad en kilogramos de tomate recolectada por cosecha se calcula como el producto entre la producción en kilogramos por planta de tomate, la cantidad de matas de tomate cultivadas y el ciclo de germinación del tomate, es decir la cantidad de días entre cosecha y cosecha. Luego, el ahorro total generado por la cosecha de tomates en la huerta equivale al producto entre la cantidad en kilogramos recolectada y el precio de la mayorista del kilogramo de tomate. En este modelo el ahorro se refiere al gasto que supondría comprar una cantidad en kilogramos de tomate equivalente a la producida en la huerta.

De manera análoga se calcula la cantidad en kilogramos recolectada por cosecha y el ahorro generado por los otros cuatro cultivos, teniendo en cuenta los parámetros que caracterizan a cada una de las hortalizas.

Se debe tener en cuenta que la cantidad de matas de tomate o de cualquier otra hortaliza es un parámetro que puede ser modificado por el modelador, y el método para conocer cuál es la combinación de hortalizas que mejor satisface cada uno de los criterios, se realiza modificando este parámetro de cantidad y probando las diferentes combinaciones de matas a sembrar de cada hortaliza.

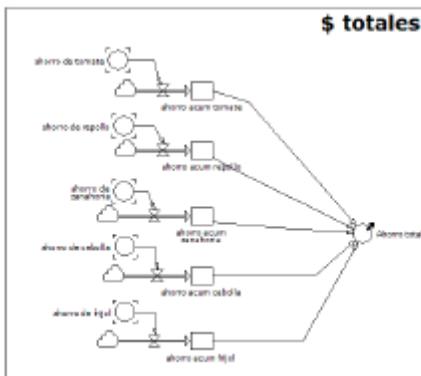


Figura 3. Ahorro total generado por las cinco hortalizas

En la figura 3 se calcula el ahorro total generado por las cinco hortalizas, para esto sencillamente se suma el

ahorro que aporta cada una de las hortalizas, calculando estos ahorros individuales de la misma manera en que se hizo para el tomate en la figura 2.

De esta forma estudiamos uno de los criterios de nuestro interés, el ahorro generado por el cultivo particular que se está analizando, es decir, la rentabilidad del cultivo.

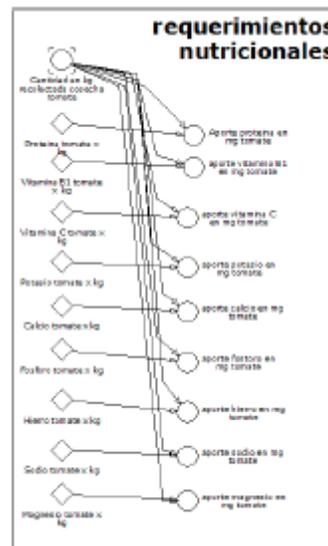


Figura 4. Aporte del tomate en vitaminas y minerales

En la figura 4 se calcula el aporte en miligramos de proteína, vitamina B1, vitamina C, potasio, calcio, fósforo, hierro, sodio y magnesio por cosecha de tomate, cada uno de estos aportes se obtiene realizando el producto entre la cantidad total en kilogramos de tomate recolectada y la cantidad de miligramos de vitamina o del mineral específico que contiene un kilogramo de tomate.

Este mismo procedimiento se realiza para obtener el aporte en vitaminas y minerales de los cultivos de zanahoria, frijol, cebolla y repollo.

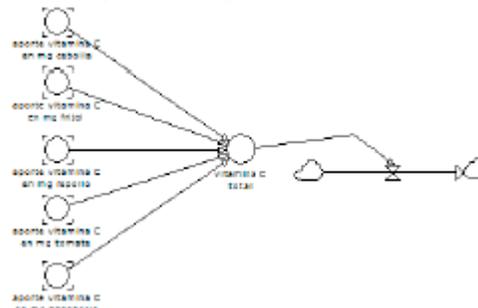


Figura 5. Aporte total en vitamina C de todas las hortalizas

La figura 5 ilustra cómo se analiza el criterio de aporte nutricional en vitaminas y minerales de todos los cultivos de la huerta en conjunto en el modelo. En la figura 5 se calcula el aporte total de vitamina C por todos los cultivos, para esto no más hay que sumar el aporte individual en vitamina C de cada una de las hortalizas, el cual se calculó según el análisis realizado para la figura 4. El aporte de vitamina C por todos los cultivos de la huerta es tan solo un ejemplo de cómo se calcularía el aporte en las demás vitaminas y minerales analizadas.

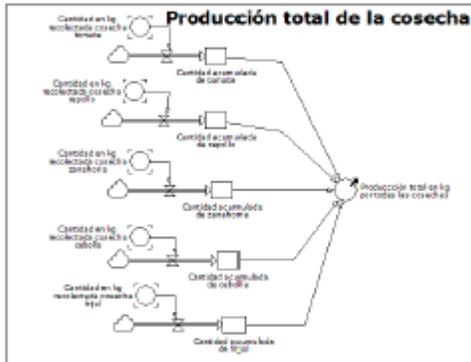


Figura 6. Ahorro total generado por el tomate

En la figura 6 se calcula la producción total en kilogramos por todas las cosechas, la cual se obtiene realizando la suma entre la cantidad en kilogramos recolectada por la cosecha de tomate, cebolla, frijol, zanahoria y la cosecha de repollo, dichas masas de producción se obtienen tal como se analizó en el figura 2.

Así concluimos con el análisis del tercer criterio en nuestro modelo, el criterio de productividad.

**5.2. RESULTADOS DEL MODELO**

Se consideraron tres criterios para el análisis de la producción de las hortalizas: rentabilidad, contenido nutricional, cantidad producida en kg (biomasa).

La combinación que más ahorro genera al cabo de cinco años es la combinación que incluye dos matas de tomate, una de repollo, 7 de zanahoria, una mata de cebolla y una de frijol. Esto se debe a que el cultivo más abundante en esta combinación es la zanahoria, que a pesar de que su kilogramo no es tan costoso, si es la segunda hortaliza que produce más kilogramos de cosecha por metro cuadrado, la hortaliza que la supera en producción es el repollo, sin embargo la zanahoria tiene un precio más alto de su kilogramo. Esta combinación también cuenta con dos matas de tomate, que pesar de ocupar más espacio, generan gran masa

de producción y el precio de su kilogramo es el segundo más costoso.

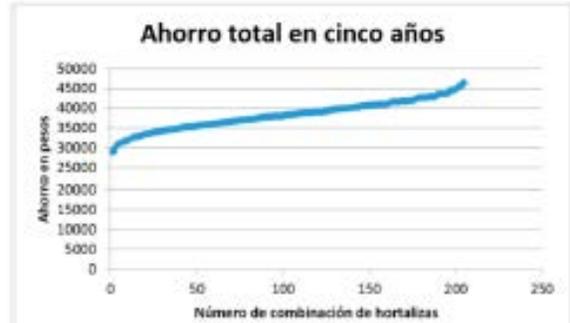


Figura 7. Dinámica de las combinaciones analizadas para el ahorro total en cinco años

En la búsqueda individual de la combinación óptima de hortalizas para tener el mejor aporte en cada una de las vitaminas y cada uno de los minerales se obtuvieron resultados muy favorables: para ocho de las nueve vitaminas y minerales analizados coincide la misma combinación, la cual incluso satisface el criterio de máxima producción de cosecha, ya que produce 73.265 kg, lo cual si se compara con lo mínimo que se puede obtener es de 29.477 kg, es bastante diferencia. La combinación es de un tomate, cuatro repollos, una zanahoria, una cebolla y un frijol, estos cultivos satisfacen tantos criterios debido a que la hortaliza más abundante es el repollo, la hortaliza con mayor producción en kilogramos de las cinco, en todos los casos es la primera o la segunda en aportar más hierro, proteína, vitamina B1, vitamina C, potasio, calcio, fósforo y magnesio.

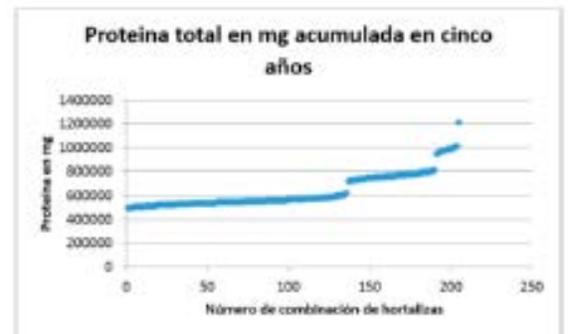


Figura 8. Combinaciones de proteína total en mg acumulada en cinco años

El frijol es el único que supera en muchos casos al repollo en aporte nutricional por kg según la Tabla 2 sin embargo como ya lo mencionamos, el repollo produce muchos más kilogramos de cosecha que los demás. El frijol que es el que menos produce de todos.

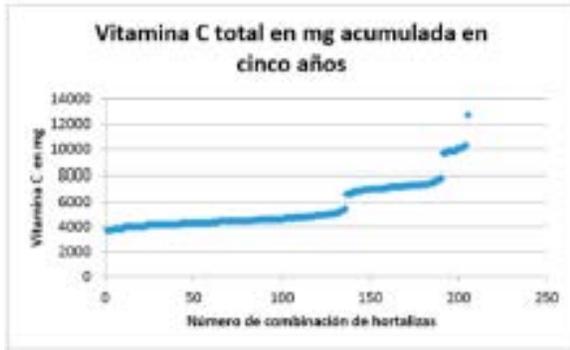


Figura 9. Combinaciones de vitamina C total en cinco años

El sodio es el único mineral que no se adapta a la combinación óptima, que muestran las demás vitaminas y minerales. La mejor combinación de hortalizas para tener el mayor aporte de sodio es de un tomate, un repollo, trece zanahorias, una cebolla y un frijol. Esta resultó ser la mejor combinación para el sodio ya que está compuesta en su mayor parte por zanahorias, que son las segundas hortalizas en aportar más sodio. La razón por la que el cultivo no está compuesto en su mayoría por frijoles, los que más aportan en sodio, es porque la masa de producción de una mata de frijol en un metro cuadrado es insignificante al lado de las demás hortalizas, así que por obvias razones, la zanahoria al producir más, tiene un aporte mayor de sodio.



Figura 10. Combinaciones de producción total en cinco años

## 6. CONCLUSIONES

- Una microhuerta es una solución real no sólo por el hecho que permite obtener un complemento nutricional para una familia, sino que además permite diversificar el menú familiar, pues le da la opción de escoger y cultivar las hortalizas que más le guste. Por otro lado, permite ahorrar recursos complementarios para adquirir otros alimentos básicos de la canasta familiar, tales como la leche, el pan, la carne, los huevos, etc.
- En este trabajo se conceptualizó e implementó un modelo que permitió calcular bajo tres criterios (indicadores) de diferente naturaleza, la productividad de un área de terreno unitaria, en este caso de 1 m<sup>2</sup>. Los criterios seleccionados fueron: el contenido nutricional expresado en vitaminas y minerales aportados por cada una de las cinco hortalizas modeladas; la rentabilidad asociada con la venta de las cosechas al precio de plaza mayorista y finalmente, el contenido de biomasa producida en kg. El hecho de escoger estos indicadores permitirá a la familia decidir sobre el destino de los cultivos, bien sean para autoconsumo, venta de las cosechas o una combinación de estas cuando existan excedentes.
- En el trabajo de modelación desarrollado y presentado en este artículo, se calcularon los tres anteriores indicadores para áreas unitarias (de 1 m<sup>2</sup>), de un sólo cultivo a la vez y para un período de tiempo promedio de cinco años. Suponiendo que un cultivo y su cosecha respetan el principio de proporcionalidad a escalas espacial y temporal, es relativamente sencillo estimar para cada uno de ellos cada uno de estos criterios, sin importar el tamaño del área cultivada ni qué tan extenso pudiera ser el período de tiempo. Es por esta razón que la simulación se realizó para un período de tiempo relativamente extenso (de cinco años), con lo cual se espera que estos resultados puedan ser desagregados a escalas temporales más finas.
- Los modelos para simular procesos naturales, en este caso los cultivos y cosechas, son herramientas de gran poder, que permiten tomar decisiones racionales, basadas en juicios críticos, evidencias y factores objetivos.
- Es claro que mientras mayor sea el área cultivada, mayor será también el tamaño de la cosecha. Sin embargo, un mayor volumen no necesariamente implica que haya mayor rentabilidad, ya que esta última depende en gran medida del costo de producción de cada cultivo, la duración de crecimiento del mismo (tiempo entre cosechas), entre otras cosas.
- En esta simulación se encontró que la mayor productividad en biomasa está asociada con los cultivos de repollo y zanahoria, debido principalmente a la pequeña área ocupada por la planta de zanahoria y el peso (en kg) que puede alcanzar a tener un repollo al cosecharlo.
- Es importante tener en cuenta que cada una de las hortalizas analizadas es diferente en términos de su aporte nutricional, rendimiento y frecuencia de

cosecha. Por lo tanto, este modelo permite obtener la combinación óptima del tipo de hortalizas a sembrar y el área que ellas han de ocupar, de tal forma que se satisfagan los requerimientos sobre aporte nutricional, productividad o ahorro según lo que desee el usuario.

- Luego del análisis de los resultados del modelo, se puede concluir que darle prioridad al aporte nutricional es mucho más conveniente que las consideraciones sobre rentabilidad monetaria, ya que este trabajo demostró que con la combinación real óptima de cultivos, en términos del aporte nutricional se satisfacen todas las necesidades básicas de vitaminas y minerales (excepto por el sodio) y adicionalmente se obtiene la mayor producción en kilogramo de cosecha, lo que se traduce en más alimento para la familia. Por otro lado, la combinación de ahorro óptima solo satisface el criterio de sostenibilidad financiera.
- Los resultados obtenidos de la combinación óptima de productividad y aporte nutricional nos permitieron calcular la cosecha (en kilogramos) obtenida por la familia, al final de este ejercicio de cinco años. Esta fue de 73.265 kilogramos, lo cual expresado en gramos por día por familia, equivaldría a 40.70 gramos de hortalizas por familia en un día; una cantidad que podría parecer pequeña a primera vista, aunque debe tenerse en cuenta que ella corresponde a un terreno con un área muy pequeña. Por otro lado, si la familia contara con cuatro personas cada integrante tendría derecho a 10.17 gramos de hortalizas. A pesar de que 10.17 gramos de hortalizas por persona es muy poco frente a los 400 gramos que recomienda la Organización Mundial de la Salud como ingesta diaria, aun así es un aporte, el cual se duplicará si la familia cuenta no uno, sino con dos metros cuadrados de terreno, o con tres o más sucesivamente, lo que le permitirá ir aumentando el aporte de la huerta, mientras mayor sea el tamaño, por un principio de proporcionalidad espacial, en los cálculos desarrollados.
- Tal como se había señalado al comienzo de este trabajo, estas huertas familiares no pueden aportar todo el contenido nutricional diario que una persona necesita. Esto se debe a que las familias con las que se trabajaría este proyecto, no poseen parcelas con áreas lo suficientemente grandes que les permitan obtener una cosecha que les garantice el cubrimiento del 100% de sus necesidades nutricionales.
- A pesar de que la combinación óptima que se obtuvo para satisfacer los criterios de aporte nutricional y

productividad es muy buena en cuanto a que cumple con la mayoría de los criterios analizados en este estudio, no satisface uno muy importante que es la diversidad de alimentos, ya que precisamente esta combinación contiene un gran porcentaje de repollo. Lo anterior se debe a que el repollo es la hortaliza que produce más kilogramos de biomasa por cosecha y que por sus características particulares de contenido alimentario satisface la mayoría de los requerimientos nutricionales. No obstante lo anterior, no es conveniente que una familia consuma tanto repollo; es posible que si la familia contara con un área más grande, se podrían combinar otros cultivos para obtener otras alternativas igual o casi tan buenas como aquella de sembrar en la misma área una planta de tomate, cuatro de repollo, una de zanahoria, una cebolla y una de frijol.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Agrosalud. (2015). Agrosalud. Recuperado el 2015 de Abril de 26, de Agrosalud: [http://www.agrosalud.org/descargas/Plegable%20frijol\\_Rodin\\_impresion\\_jul10.pdf](http://www.agrosalud.org/descargas/Plegable%20frijol_Rodin_impresion_jul10.pdf)
- Agudelo, O. B., & Guarnizo Rojas, E. (s.f.).
- Manejo de Aguas. Guías para determinar parámetros hidrofísicos del suelo para Riego. Bogotá: INAT-JICA.
- Bienestar Familiar. (2015). Composición de alimentos colombianos. Recuperado el 26 de abril de 2015, de Composición de alimentos colombianos: [http://alimentoscolombianos.icbf.gov.co/alimentos\\_colombianos/consulta\\_alimento.asp](http://alimentoscolombianos.icbf.gov.co/alimentos_colombianos/consulta_alimento.asp)
- Central Mayorista. (2015). Central Mayorista. Recuperado el 23 de abril de 2015, de Central Mayorista: <http://www.lamayorista.com.co/site/esp/>
- DANE. (2014). Pobreza monetaria y multidimensional en Colombia 2014. Bogotá: DANE.
- FAO. (s.f.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado el 5 de abril de 2014, de Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/hunger/en/>
- FAO. (3 de Mayo de 2014). Huertas caseras, ejemplo de seguridad alimentaria. Recuperado el 5 de Abril de 2015, de Huertas caseras, ejemplo de seguridad alimentaria: [http://www.elmundo.com/movil/noticia\\_detalle.php?idx=236275](http://www.elmundo.com/movil/noticia_detalle.php?idx=236275)
- FAO. (2014). Hunger Map. Recuperado el 5 de Abril de 2015, de Hunger Map: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/foodsecurity/poster\\_web\\_001\\_MDG.jpg](http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/foodsecurity/poster_web_001_MDG.jpg)

- Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas. (2015). Fenalce. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de Fenalce: <http://www.fenalce.org/nueva/index.php>
- Gerencia de Seguridad Alimentaria y Nutricional (MANA). (7 de septiembre de 2012). Antioquia con Seguridad Alimentaria y Nutricional (MANA). Antioquia con Seguridad Alimentaria y Nutricional (MANA). Medellín, Antioquia, Colombia: Gobernación de Antioquia.
- Gobernación. (3 de Octubre de 2012). Huertas de autoconsumo, una oportunidad más para las familias antioqueñas. Huertas de autoconsumo, una oportunidad más para las familias antioqueñas. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Iregui, D. N., & Cuesta, D. M. (2004). Acuerdo de Competitividad de la Cadena de Hortalizas.
- Jaramillo, J. E., & Díaz, C. (s.f.). El cultivo de las Crucíferas. Brocoli, coliflor, repollo y col china. La Selva, Rionegro, Antioquia: Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria, CERPOICA, Centro de Investigación.
- OMS. (Mayo de 22 de 2004). Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/fruit/es/index1.html>
- ONU, C. d. (Septiembre de 2010). ONU. Recuperado el 25 de abril de 2015, de ONU: <http://www.un.org/es/mdg/summit2010/>
- PNUD. (2015). EL PNUD en Colombia. Recuperado el 5 de Abril de 2015, de EL PNUD en Colombia: <http://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/mdgoverview/>
- PNUD. (s.f.). Programa de las naciones unidas para el desarrollo. Recuperado el 5 de Abril de 2014, de Programa de las naciones unidas para el desarrollo: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/mdgoverview.html>
- Romero, J. A. (Noviembre de 2002). La horticultura en Colombia. Situación actual y perspectivas, Cultivos. Bogotá: Publicación INAT-JICA.
- Tiempo, E. (10 de Diciembre de 2014). Región cumplió meta de reducción del hambre, pero a Colombia le falta. El Tiempo, pág. 1.
- Universal, E. I. (17 de diciembre de 2005). Enciclopedia libre universal. Recuperado el 25 de abril de 2015, de Enciclopedia libre universal: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Hortaliza>
- Wikipedia. (s.f.). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Recuperado el 5 de Abril de 2015, de Objetivos de Desarrollo del Milenio: [http://es.wikipedia.org/wiki/Objetivos\\_de\\_Desarrollo\\_del\\_Milenio](http://es.wikipedia.org/wiki/Objetivos_de_Desarrollo_del_Milenio)
- Wikipedia. (17 de diciembre de 2005). Wikipedia. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de Wikipedia: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Hortaliza>

## 87. AMBIENTE VIRTUAL CON DINÁMICA DE SISTEMAS PARA EL APRENDIZAJE DEL SISTEMA PRODUCTIVO DE PECES EN ESTANQUE

ING. NATALIA MARTÍNEZ R., ING. JUAN S. ANGARITA Z., MSC. HUGO H. ANDRADE S., MSC. CARLOS A. VÁSQUEZ C.

Universidad Industrial de Santander – UIS, Calle 9 # 27 Bucaramanga.  
natica@simon.uis.edu.co, juan.angarita1@correo.uis.edu.co, handrade@uis.edu.co, cvasquez@uis.edu.co

### ABSTRACT

This paper presents a proposal for using System Dynamics (SD) models as a strategy to integrate Information and Communications Technologies (ICT) in the agroindustrial program of IPRED-UIS. Therefore, it is proposed the gradual implementation of classes in which the models are significant for learning agroindustrial phenomena, such as managing fishponds. This is made using simulators, training teachers, building and reformulation materials in order to continuously improve the strategy that allows the integration of SD in the agroindustrial program. Finally, it is proposed a strategy for the sustainability of modeling and simulation (MS) in the program, which is achieved through the participation of teachers. Besides, the strategy was designed on the basis of experience and use of materials in practice students from different semesters.

This research was conducted in the internal call funded by the Industrial University of Santander - UIS.

**KEYWORDS:** Modelling and simulation, system dynamics, TIC, Agro – industry

### RESUMEN<sup>1</sup>

Se presenta una propuesta del uso de los modelos con Dinámica de Sistemas (DS) como estrategia para integrar las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en el programa Agroindustrial del IPRED – UIS. Para esto se propone la implementación gradual en las clases, en las cuales los modelos son significativos para el aprendizaje de fenómenos agroindustriales, tales como la gestión de un estanque de peces; utilizando como apoyo los simuladores, capacitaciones docentes periódicas y, construcción y actualización de materiales con el propósito de mejorar continuamente el planteamiento de la estrategia que permite la integración de la DS en el programa Agroindustrial del IPRED. Finalmente, se propone una estrategia para la sostenibilidad del modelado y simulación (MS) en el programa la cual se alcanza a través de del contagio de los docentes, dicha estrategia se diseñó teniendo como base la experiencia y uso de los materiales en la práctica con estudiantes de diferentes semestres.

Esta investigación se realiza en el marco de la convocatoria interna de articulación docencia, investigación y extensión 2014, financiada por la Universidad Industrial de Santander – UIS.

**PALABRAS CLAVE:** Modelado y simulación, Dinámica de Sistemas, TIC, Agroindustria

### I. INTRODUCCIÓN

El Ambiente virtual con Dinámica de Sistemas (DS) para el aprendizaje de sistemas productivos de peces en

estanques de geomembrana<sup>1</sup>; pretende ayudar a los docentes y estudiantes del programa Agroindustrial del Instituto de Proyección Regional y Educación a

<sup>1</sup> Este artículo se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelado y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática y el grupo de investigación CIAGRO, adscrito al Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia (IPRED) de la UIS. Bucaramanga, Colombia; en el marco del XIII Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Cartagena, Colombia. 2015. Mayor información sobre este trabajo y demás labores del grupo SIMON: <http://simon.uis.edu.co/>

<sup>1</sup> Las geomembranas son láminas geosintéticas que aseguran la estanquidad de una superficie.

Distancia – IPRED – UIS, en la enseñanza y comprensión del fenómeno del sistema productivo respectivamente; para esto se utilizan modelos de simulación realizados con DS de cobertura y complejidad creciente, en donde se inicia con un modelo básico de crecimiento y se aumenta en complejidad y cobertura a medida que se profundiza en la temática.

En el Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA) se lleva a cabo el proceso de enseñanza – aprendizaje, el cual se construyó bajo la plataforma MOODLE<sup>2</sup> del IPRED, en el marco de la asignatura Nutrición Animal; las actividades que se proponen combinan el uso de simuladores y guías de trabajo.

Cada actividad realizada siguió la metodología que se presenta en la Figura 1, en donde en la etapa de planificación se diseña la estructura general de la actividad con los contenidos y recursos, la etapa de ejecución corresponde al desarrollo de la actividad con los estudiantes; finalmente en la etapa de reflexión se evaluaron los resultados de la actividad con el objetivo de rediseñar la actividad propuesta atendiendo las sugerencias de los involucrados.

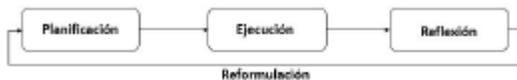


Figura 1. Metodología para planificación y ejecución de experiencias con estudiantes.

El proceso de reformulación se debe realizar constantemente para poder adaptarse a los cambios y obtener cada vez mejores resultados, los cuales permiten el mejoramiento de la estrategia de integración propuesta.

En el presente documento se presentan las actividades propuestas. El contenido de cada actividad incluye:

- Modelo utilizando como metodología la DS, en donde se incluyen los lenguajes asociados (lenguaje en prosa, diagrama de influencias, diagrama de Flujo – Nivel y comportamientos)
- Animadores que permiten al usuario observar comportamientos y manipular algunas variables. Para cada actividad se realizaron los siguientes animadores:
  - En el Animador automático el usuario observara los comportamientos presentados y analizara la influencia de la(s) variable(s) en los mismos teniendo como precedente la descripción del

modelo. En este animador, el modelo es el encargado de tomar las decisiones con respecto a las variables.

- En el Animador manual el usuario es el encargado de manipular los parámetros teniendo presente la descripción del modelo y los alcances del mismo. A medida que el usuario cambia el valor de un parámetro se refleja esta acción en los comportamientos que se presentan. En este animador, el usuario es el encargado de tomar las decisiones con respecto a las variables.
- Manual de usuario que permitirá conocer acerca del funcionamiento de los animadores.
- Desarrollo de la actividad, con base en las experiencias de las actividades realizadas, se propone el desarrollo paso a paso de cada actividad.
- Guías de trabajo de la actividad, en donde se determina la comprensión del fenómeno por parte de los usuarios.

Las actividades están diseñadas con cobertura y complejidad creciente, esto significa que para poder entender y comprender una actividad, se debe entender la actividad inmediatamente anterior, es por esto que se recomienda que si no se ha comprendido la actividad no se continúe, ya que la siguiente aumentara en cobertura y complejidad.

Este trabajo es resultado del proyecto de investigación y extensión: Estrategia tecnológica y didáctica que facilite el uso de modelos de simulación con Dinámica de Sistemas en el programa Agroindustrial del IPRED.

## II. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El programa Agroindustrial del IPRED – UIS, se desarrolla por ciclos propedéuticos así: el ciclo Técnico Profesional en Producción Agropecuaria, Ciclo Tecnología Agroindustrial y Ciclo Profesional en Producción Agroindustrial; en el primer ciclo el estudiante conoce el componente técnico de los sistemas productivos, y es en este punto en donde se define el proyecto, el cual con el transcurrir del tiempo se le va dando forma; en los dos ciclos siguientes se atiende la fase agroindustrial y se fortalece la visión del agro-negocio, la cual permite al estudiante evaluar la viabilidad del proyecto. De esta forma antes de finalizar sus estudios, el estudiante puede definir si es viable su proyecto teniendo los elementos técnicos, financieros y

<sup>2</sup> Moodle es un software diseñado para ayudar a los educadores a crear cursos en línea de alta calidad y entornos de aprendizaje virtuales.

administrativos que garanticen la sostenibilidad del mismo.

Además, el grupo de investigación SIMON de la Escuela de Ingeniería de Sistemas, con la colaboración del grupo de investigación CIAGRO adscrito al programa Agroindustrial del IPRED, ha realizado pruebas con estudiantes del Programa Agroindustrial de los modelos con Dinámica de Sistemas desarrollados en la modalidad de proyecto de investigación con estudiantes de Ingeniería de Sistemas, en donde se ha podido apreciar que los modelos pueden facilitar a los estudiantes la construcción de una visión integral de los fenómenos que intervienen en el desarrollo de los procesos productivos agropecuarios de su interés.

Teniendo en cuenta lo anterior, se observa una oportunidad para integrar los ciclos propedéuticos, mediante la construcción de Ambientes de experimentación y aprendizaje soportados en modelos de simulación con Dinámica de Sistemas, los cuales permitirán a los estudiantes conocer los efectos de una decisión, y poder realizar los correctivos a tiempo.

### III. ANTECEDENTES

Modelos de simulación con Dinámica de Sistemas del sector agroindustrial realizados en el grupo de investigación SIMON:

- Propuesta de un modelo de simulación para el cultivo de la caña panelera bajo el enfoque sistémico [1] El modelo se desarrolló para la producción de caña panelera de una hectárea, se limitó al estudio de las toneladas de caña obtenidas y a la calidad de sus jugos que en promedio se obtienen en la hoya del río Suarez. El modelo contempla la influencia que tienen los nutrientes, las labores culturales, las plagas y las enfermedades, las raíces de la planta y la fotosíntesis en el desarrollo del cultivo y en la calidad de los jugos.
- Propuesta de un modelo agro-económico de simulación del cultivo de caña y la industria panelera [2] El modelo se realizó para la producción de panela en la región de la hoya del río Suarez, se consideró la existencia de dos tipos de trapiches tradicionales y tecnificados, además se tiene en cuenta el periodo vegetativo de la caña y el rendimiento del cultivo por hectárea.
- Lineamientos metodológicos para la construcción de modelos agro-industriales identificables en términos de dinámicas poblacionales basados en el pensamiento sistémico y la Dinámica de Sistemas

[3] El propósito del trabajo es formular una metodología que oriente, facilite y motive la generación de modelos agroindustriales. La implementación generara competencias y facilitara la construcción de conocimiento en fenómenos de gran complejidad para obtener mayores beneficios del sector y/o mejorar la eficiencia con las que se llevan a cabo las actividades de administración.

- Modelo de simulación con Dinámica de Sistemas para el aprendizaje de la cadena productiva del cacao [4] Muestra una aproximación del fenómeno de la cadena productiva del cacao, con el enfoque del pensamiento sistémico y el modelado y la simulación con Dinámica de Sistemas, de tal forma que se facilite el aprendizaje sobre cada uno de los eslabones de la cadena productiva y de la cadena completa.
- Ecogranja herramienta software para el diseño de granjas integrales agropecuarias, un enfoque Dinámico Sistémico [5] Ambiente virtual que apoya el aprendizaje y la toma de decisiones en fenómenos agropecuarios, se compone por un modelo de dinámica de sistemas que representa la granja agropecuaria en estudio y por un ambiente software que permite la utilización del modelo a los usuarios productores agropecuarios. El modelo integra diversos factores que influyen de manera general en las granjas agropecuarias.
- Ambiente software integrado por un juego para teléfonos móviles, un sitio web y una aplicación para computador personal, para el aprendizaje y toma de decisiones versión 2.0 [6] Presenta un ambiente compuesto por tres productos: un juego para teléfonos móviles que permite al usuario iniciar un sistema productivo de un pez o conjunto de peces, para observar el desarrollo de su crecimiento y vender en un mercado en internet. Una aplicación para computador personal que permite al usuario ver contenidos relacionados con las temáticas del sistema productivo, experimentar mediante los modelos con DS asociados y la posibilidad de administrar estos contenidos. Y un sitio web que ofrece información básica teórica sobre DS, registro de usuarios, uso de foros y descargas del juego.
- JdIC2002: Herramienta Software basada en el Juego de la Cerveza para el desarrollo de competencias de Aprendizaje Organizacional [7] En el juego se recrea una cadena de producción – distribución de la industria cervecera. En donde se debe manejar un puesto de la cadena de suministro de cerveza y su objetivo consiste en minimizar los

costos obtenidos durante su período de administración.

#### IV. DINÁMICA DE SISTEMAS

La Dinámica de Sistemas (DS) es un lenguaje que nos facilita explicar y recrear los fenómenos de interés en términos de modelos de simulación. Con estos modelos y el computador podemos observar cómo se puede comportar el fenómeno bajo diferentes condiciones (experimentación simulada). Es decir, podemos responder a la pregunta: ¿Qué pasaría en un fenómeno si se presentan determinadas condiciones? Según esto, un modelo es una explicación que nos es útil para contestarnos preguntas sobre el fenómeno que explica.

Además, la DS ayuda a pensar los fenómenos a modelar, lo que llamamos el Paradigma de Pensamiento Dinámico Sistémico, este es una manera de pensar sobre lo que nos interesa asumiendo los fenómenos como Sistemas Dinámicos, es decir, como cosas que están en permanente cambio y que para comprenderlas debemos explicar cómo cambian, cómo son sistemas dinámicos, es decir, constituidas por un conjunto de partes interrelacionadas generando una estructura realimentada [8].

La Dinámica de Sistemas proporciona un sistema de lenguajes con los cuales es posible expresar la causalidad. Los modelos Dinámico-Sistémicos son escritos en esos lenguajes [1]. La *¡Error!* No se encuentra el origen de la referencia. Muestra los diferentes tipos de lenguajes:

- El lenguaje en prosa, es el usado cotidianamente, es posible hablar en términos de las causalidades y como estas condicionan el comportamiento.
- Los diagramas causales y los diagramas de flujos y niveles, tienen un carácter gráfico. En cada uno de ellos se puede dibujar y apreciar visualmente la estructura causal con sus ciclos de realimentación. Para cada uno de estos diagramas existe una lógica que permite inferir comportamientos posibles del sistema a partir de las estructuras que allí aparecen [8].
- Las ecuaciones puede representar la estructura causal como un sistema de ecuaciones diferenciales. Con la representación matemática del sistema y haciendo uso de herramientas especializadas, se puede simular en el computador, con amplias facilidades para la interacción en un

lenguaje visual de definición de escenarios de simulación y presentación de comportamientos [8]

Cada uno de ellos satisface de manera particular los requerimientos de un modelo Dinámico-Sistémico.

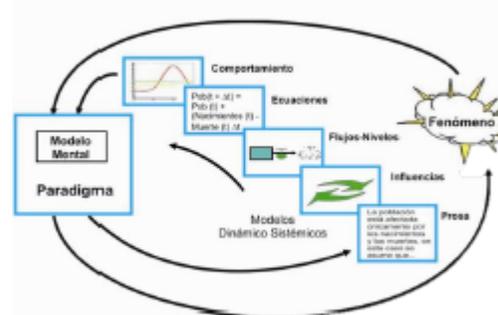


Figura 1. Modelado y simulación con DS – Metodología de los 5 lenguajes.

#### V. AMBIENTE VIRTUAL CON DINÁMICA DE SISTEMAS PARA EL APRENDIZAJE DEL SISTEMA PRODUCTIVO DE PECES EN ESTANQUE

Un Ambiente Virtual De Aprendizaje (AVA) es el espacio físico donde las nuevas tecnologías tal como el Internet, se han potencializado rebasando al entorno educativo tradicional que favorece al conocimiento y a la apropiación de contenidos. En este AVA se pretende por medio de modelos realizados con DS, conducir a los estudiantes en el aprendizaje del sistema productivo de peces en estanque. Los modelos se presentan con cobertura y complejidad creciente, iniciando desde el crecimiento de un pez (estanque) solo con la ingesta de alimentos hasta el crecimiento de un pez (estanque) analizando la influencia de otras variables como la temperatura y oxígeno.

Los modelos que se presentan a continuación están organizados en principio al conocimiento básico del sistema productivo de peces en un estanque.

Áreas de conocimiento directamente involucradas:

- Procesos agroindustriales – Nutrición animal
- Dinámica de sistemas.
- Pensamiento sistémico.

La Tabla 1, presenta los modelos realizados y una breve descripción, los cuales son utilizados posteriormente en las actividades realizadas con los estudiantes, utilizando una interface para interactuar mediante simulaciones

con el modelo; la interface aquí se denomina animadores y junto con el modelo operan en Evolución<sup>3</sup>.

Tabla 1. Modelos realizados para realizar las experiencias con estudiantes del programa Agroindustrial del IPRED

No.	Modelo	Descripción
1	Crecimiento del pez promedio y el estanque	El modelo pretende explicar el crecimiento del pez promedio y el estanque, teniendo en cuenta las propiedades nutricionales.
2	Crecimiento del pez promedio y del estanque con variación la temperatura	El modelo muestra el crecimiento del pez promedio y el estanque y como la temperatura afecta el consumo de alimento del pez y por consiguiente el crecimiento.
3	Crecimiento de peces con temperatura y niveles de oxígeno variables	El modelo muestra el crecimiento del pez promedio y el estanque y como la temperatura y los niveles de oxígeno afectan el consumo de alimento del pez y por consiguiente el crecimiento; además como la falta de oxígeno puede causar la muerte de peces del estanque.
4	Crecimiento del pez promedio y el estanque con temperatura, niveles de oxígeno y costos asociados	El modelo muestra el crecimiento del pez promedio y el estanque y como la temperatura y los niveles de oxígeno afectan el consumo de alimento del pez y por consiguiente el crecimiento; además como la falta de oxígeno puede causar la muerte de peces del estanque. Adicionalmente, se agregan los costos asociados (alimento y mantenimiento) y las utilidades.

Para cada uno de los modelos presentados se utilizara la metodología de la DS en donde se encontrara la descripción en los lenguajes definidos y la presentación de la propuesta de la actividad así como los recursos (animadores, guías y planeaciones de clase) A continuación se presenta los recursos desarrollados para la actividad 1 – crecimiento de pez promedio y el estanque.

1. Modelo crecimiento promedio de los peces en el estanque Un estanque es una pequeña cavidad de agua, natural o artificial, utilizado cotidianamente para proveer al riego, criar peces, nadar, etc. El modelo presenta una introducción a la DS dentro de procesos de nutrición animal específicamente el caso del crecimiento de un determinado número de peces en un estanque bajo condiciones controladas.

**a. Lenguaje en prosa**

El crecimiento de un estanque está sujeto a la cantidad de ración alimenticia que le sea suministrada, la cual se relaciona con un factor de conversión que indica cuanto de cada gramo que el pez come, se convierte en masa muscular. Tomando como referencia el crecimiento promedio de los peces se calculan los valores necesarios para alimentar a un estanque de 100 individuos.

**b. Diagrama de influencias**

En el diagrama de influencias se observan tres ciclos, los cuales corresponden al crecimiento promedio de los peces, estos son:

- Ciclo límite de crecimiento (realimentación negativa): se observa que a mayor factor de conversión de alimento consumido en carne del pez, hay un incremento en el peso del pez, lo cual repercute en la cobertura máxima. Así un aumento en la cobertura de peso máximo disminuye el factor de conversión que le permite al pez seguir ganando peso, esto debido a que el pez en determinado punto alcanza su peso máximo y el alimento que recibe no se convierte en carne que favorezca su peso.
- Ciclo de crecimiento (realimentación positiva): a medida que la ración de alimento del pez se aumenta, el crecimiento del pez incrementa, causando que este requiera mayor ración de alimento a suministrarle.
- Ciclo de producción de masa muscular (realimentación negativa): a medida que el peso del pez promedio aumenta la ración de alimentaria aumenta también, pero este alimento se divide en dos para mantenimiento del pez y para crecimiento de la masa muscular (producción) del pez, así que cuando es mayor el costo de mantenimiento el crecimiento disminuye.

Posteriormente, se generaliza los resultados obtenidos para el promedio de los peces a un estanque.

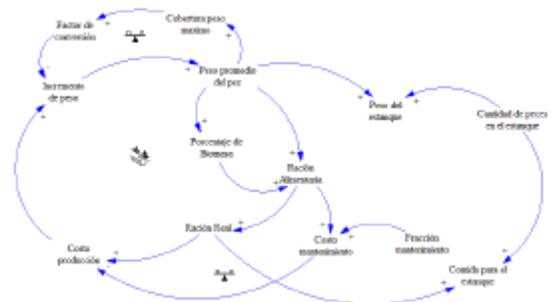


Figura 2. Diagrama de influencias del crecimiento promedio de los peces en el estanque

**c. Diagrama de Flujo – Nivel**

El diagrama de Flujo – Nivel, tiene dos sectores los cuales corresponden a un promedio de peces y a un estanque. En el sector del promedio de peces se observa que la ración alimentaria y el porcentaje de biomasa son las principales variables que hacen que el pez incremente su peso. Por otra parte, para el

<sup>3</sup> Evolución 4.5 es un software de Dinámica de Sistemas para construir modelos y animadores desarrollado por e grupo de investigación SIMON

estanque se tiene que el peso del estanque es la multiplicación del peso promedio de un pez y la cantidad de peces en el estanque, asimismo se calcula la cantidad de comida para el estanque.

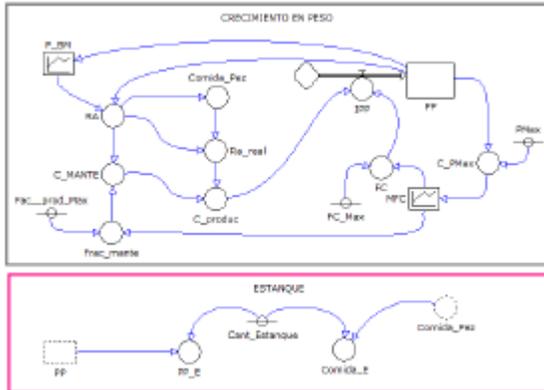


Figura 3. Diagrama de Flujo-Nivel del crecimiento promedio de los peces en el estanque

**d. Comportamientos**

El escenario definido para los resultados de simulación, surgen a partir de un límite de crecimiento para el pez promedio fijado en 1200 gramos. De esta forma, en los primeros días de simulación el crecimiento del pez es acelerado debido a que su tasa de conversión es elevada (aproximadamente 0.92).

Dicha tasa de conversión corresponde a que tanta comida que el pez consume diariamente, es capaz de convertirla en carne y así hay un incremento en su peso en gramos. Posteriormente, cuando el peso del pez se aproxima a su valor máximo, este comienza a estabilizarse. En consecuencia, el alimento suministrado el pez lo utiliza en su mayoría para funciones de mantenimiento tal como la respiración. Finalmente, para la versión de este modelo las variables que condicionan el crecimiento del pez en la cantidad de alimento que se le suministra en función de su porcentaje de biomasa, a largo de su crecimiento. Variables incidentes sobre el crecimiento del pez tales como oxígeno y temperatura en esta versión modelo no son tenidas en cuenta.

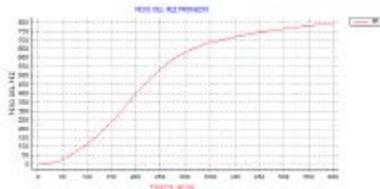


Figura 4. Peso promedio de los peces [Gr]

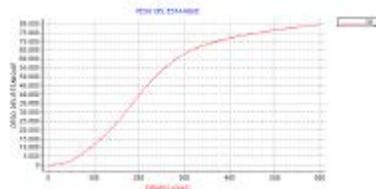


Figura 5. Peso del estanque [Gr]

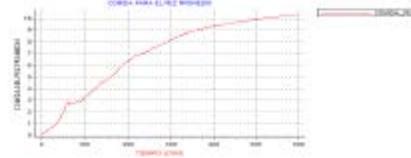


Figura 6. Cantidad de comida por pez según el peso promedio

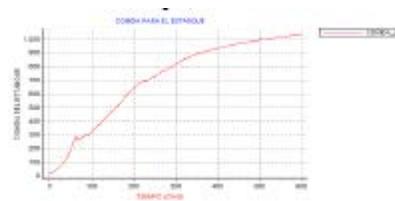


Figura 7. Cantidad de comida para el estanque según el peso promedio

**e. Animadores**

Para la actividad se realizaron dos animadores, el animador automático (Figura 8) y el animador manual (Figura 9), con el fin de facilitar la interacción de los estudiantes con el modelo.

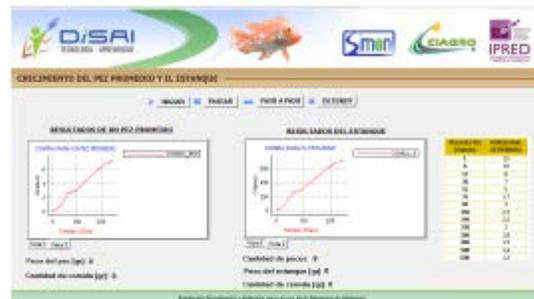


Figura 8. Animador automático del modelo del crecimiento promedio de los peces en el estanque

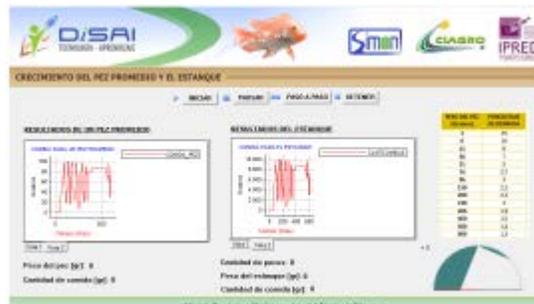


Figura 9. Animador manual del modelo del crecimiento promedio de los peces en el estanque

**f. Desarrollo de la actividad**

La actividad tiene una duración de 2 horas, en donde primero se realiza la revisión de los prerrequisitos y se contextualiza a los estudiantes en la problemática de estudio. Posteriormente, se utilizarán los dos simuladores con las respectivas guías de preguntas y socialización con el fin de alcanzar el objetivo de la actividad.

**Prerrequisitos:**

El desarrollo de la presente actividad necesita de una serie de prerrequisitos fundamentales que cada uno de los docentes debe tener. Estos deben ser pre-saberes cognitivos tales como:

- Capacidad para interpretar gráficos cartesianos XY.
- Conocimiento proceso de nutrición de un pez.
- Conocimiento de los componentes hardware que permiten el uso del computador (tales como teclados, mouse, entre otros).

**Objetivo de la actividad:**

- Entender el crecimiento de un estanque con determinado número de peces en función de la ración alimentaria que se suministra.

La actividad se divide en tres momentos como se presenta en la Tabla 2:

Tabla 2. Desarrollo de la actividad 1: Modelo del crecimiento promedio de los peces en el estanque

Momento	Actividad	Descripción actividad	Duración estimada
Momento uno	Actividad 1	Revisión de los prerrequisitos. Introducción y conceptualización del modelo crecimiento de un pez promedio y el estanque.	20 minutos
Momento dos	Actividad 1	Desarrollo guía de trabajo con preguntas de experimentación basadas en el modelo de crecimiento de un pez promedio y el estanque, bajo condiciones de alimentación automáticas.	25 minutos
	Actividad 2	Discusión y socialización guía de trabajo.	25 minutos
Momento tres	Actividad 1	Desarrollo guía de trabajo con preguntas de experimentación basadas en el modelo de crecimiento de un pez promedio y el estanque, bajo condiciones de alimentación manuales (manipuladas por el estudiante).	25 minutos
	Actividad 2	Discusión y socialización guía de trabajo.	25 minutos

Los materiales que se utilizarán durante la actividad son:

- Modelo – Animador automático crecimiento promedio de los peces en el estanque condiciones

de alimentación automática: Con este modelo los estudiantes podrán comprender la noción de tasa de conversión alimentaria en cuanto a la porción utilizada por el pez para mantenimiento y crecimiento. El modelo esta desarrollo para que sea suministrada la ración de alimento bajo condiciones controladas sin la interferencia de una persona. Además, el modelo cuenta con un simulador donde los estudiantes pueden observar los resultados de simulación a través de gráficas XY que representan el comportamiento de las variables de interés en el crecimiento de un pez a través del tiempo.

- Guía de trabajo y preguntas modelo – simulador condiciones de alimentación automáticas: Esta guía es entregada a cada estudiante en forma impresa. En ella, se dan unos lineamientos básicos en cuanto al uso del simulador se refiere. Además, cuenta con un conjunto de instrucciones para operar el simulador, acompañadas de preguntas experimentales donde se le pide al estudiante reflexionar acerca de los cambios que percibe en los resultados de simulación.
- Modelo – Animador manual crecimiento pez promedio y el estanque condiciones de alimentación manual u operada por el estudiante: Esta versión del modelo tiene la misma estructura en cuanto a porción alimentaria utilizada en mantenimiento y crecimiento en el modelo anterior. La principal diferencia radica en que para este caso, los estudiantes podrán asignar la ración alimentaria que será suministrada al estanque y así, observar a través de gráficas XY las repercusiones que esta asignación tiene sobre peso promedio de los peces y el estanque.
- Guía de trabajo y preguntas modelo-simulador condiciones de alimentación manuales: Esta guía es entregada a cada estudiante en forma impresa. En ella, se dan unos lineamientos básicos en cuanto al uso del simulador se refiere. Además, cuenta con un conjunto de instrucciones para operar el simulador, acompañadas de preguntas experimentales donde se le pide al estudiante modificar la ración alimentaria suministrada al estanque y así, reflexionar sobre los resultados de simulación observados en gráficas XY.

**g. Guías de trabajo de la actividad**

Para la actividad se utilizarán las siguientes guías con preguntas con respecto a los resultados que se obtienen con los animadores:

### *Guía de trabajo del animador automático del modelo del crecimiento promedio de los peces en el estanque*

Para comenzar realiza los siguientes pasos en el simulador de crecimiento del pez promedio y el estanque:

- Inicie la Simulación con el botón iniciar y espere a que termine la simulación
- Observa que forma tiene la gráfica y responde:
- ¿Cuál es el peso inicial y final del pez?
- ¿Cuántos peces tiene el estanque?
- ¿En qué periodo de tiempo aumento más rápidamente de peso el pez?
- ¿Cuál es la duración en días de la simulación?

### *Guía de trabajo del animador manual del modelo del crecimiento promedio de los peces en el estanque*

Para comenzar realiza los siguientes pasos en el simulador de crecimiento del pez promedio y el estanque:

Inicie la Simulación con el botón **iniciar** y espere a que termine la simulación

Observa que forma tiene la gráfica y responde:

- ¿Cuál es el peso inicial y final del pez?
- ¿Cuántos peces tiene el estanque?
- ¿En qué periodo de tiempo aumento más rápidamente de peso el pez?
- ¿Cuál es la duración en días de la simulación?
- Inicie la Simulación con el botón iniciar y es pere unos segundos y pause la simulación, a continuación modifique la cantidad de comida a suministrar al estanque, y continúe hasta que termine la simulación
- Observa que forma tiene la gráfica y responde:
- ¿Qué sucedió con el peso del pez promedio y del estanque?
- ¿De qué forma alimentaria al estanque? ¿Por qué?

Preguntas con respecto al simulador:

- ¿El simulador le ayudo a reflexionar acerca del comportamiento del crecimiento del pez promedio y el estanque?
- ¿El simulador le enseñó algo que desconocía o que pensaba que no influía en el crecimiento del estanque? ¿Qué?
- ¿Qué considera que le falta al simulador?

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### **1. Indicadores de logro alcanzados**

Cada una de las actividades realizadas tenía dos tipos de indicadores de logros a cumplir: logros comunes y logros particulares. Por lo tanto, la consecución de ellos a través del desarrollo de las experiencias experimento representa un aporte al proceso de aprendizaje de los técnicos y tecnólogos agroindustriales.

Los indicadores de logro comunes estaban presentes tanto en actividades de nutrición animal como de cadenas productivas. Estos indicadores, hacen referencia a los aportes que la dinámica de sistemas tiene sobre los estudiantes al dar elementos que permitan reconocer y entender la dinámica de cambio característica de todo aquello que nos rodea. Dinámica de cambio que para el caso particular de procesos agroindustriales, se manifiesta en las variaciones y cambios a través del tiempo que los proyectos agroindustriales tienen.

Dichos cambios, son influenciados por las personas a cargo de estos proyectos, que en el contexto de formación del IPRED son los estudiantes de agroindustria. Por lo tanto, con las actividades realizadas fue posible que los estudiantes reflexionarán acerca de cuáles son las implicaciones que trae consigo la toma de decisiones sobre sistemas agroindustriales a través del tiempo.

Por otra parte, los indicadores de logros particulares son característicos de cada asignatura. En el caso de nutrición animal, el aporte significativo de las actividades realizadas es cómo los estudiantes son capaces de reconocer la existencia de numerosos factores que deben ser tenidos en cuenta al momento de administrar la nutrición de un estanque con peces. De igual forma, el estudio de este caso particular en piscicultura es un ejemplo claro de cómo esta complejidad de elementos relacionados entre sí, se puede extender a otros procesos de nutrición animal.

En el caso de cadenas productivas, el indicador alcanzado es la capacidad de reconocer cómo la noción de cadena productiva implica un ciclo de decisiones entrelazadas entre sí. El cumplimiento de tal ciclo cerrado, trae entonces herramientas suficientes para la toma de decisiones argumentada por parte de los involucrados en la cadena productiva.

## 2. Dificultades encontradas

La dinámica de sistemas en una primera fase de la estrategia de integración es introducida a los estudiantes a través del uso de simuladores. Esto requiere pre saberes básicos relacionados con la formación secundaria de los técnicos y tecnólogos que se forman en agroindustria. Sin embargo, durante el desarrollo de las experiencias experimento se evidenciaron falencias por parte de los estudiantes en pre saberes matemáticos y geométricos. Lo cual, se evidencio en dificultades para interpretar resultados de simulación en gráficas cartesianas XY.

De esta forma, la difícil comprensión de los elementos básicos del simulador evitaba que los estudiantes pudieran responder preguntas enfocadas a construir explicaciones en torno a lo que se estaba observando en las simulaciones. En consecuencia, las respuestas que los estudiantes daban a las guías experimentales en algunas oportunidades carecían de argumentos suficientes para responder lo que se estaba preguntando. Esto tal vez a consecuencia, de las falencias en la interpretación de gráficas XY.

## 3. Sugerencias y reformulación de actividades

Acorde a la metodología planteada por los autores, con los resultados obtenidos en cada actividad fue posible analizar los registros de observación y en función de ellos reformular las siguientes experiencias. Esto con el propósito de ajustar en una mayor medida el diseño de la estrategia y por lo tanto, la formulación de las actividades que soportan dicha estrategia.

De esta forma, las reformulaciones realizadas son las siguientes:

Debido a las falencias en pre saberes matemáticos, al inicio de cada uno de las actividades reformuladas se incluía un espacio destinado a retomar conceptualmente la lectura de gráficas XY. Esto con el propósito de mejorar la interpretación de los simuladores.

En el caso de los simuladores, se modificaron de tal modo que en ellos los estudiantes pudieran encontrar el fenómeno bajo estudio primero en condiciones ideales y posteriormente, en condiciones manuales donde ellos tenían la oportunidad de intervenir sobre parámetros del modelo. Esto último, facilitaba la construcción de explicaciones y la toma de decisiones argumentada al poder observar el estado del sistema antes y después de tomadas las decisiones para experimentar.

En el caso de las guías experimentales, inicialmente se utilizaron guías con un conjunto amplio de preguntas acerca de la interacción de los estudiantes con los simuladores. Sin embargo, posteriormente estas guías fueron modificadas constantemente de tal modo que las preguntas contenidas en ellas, se enfocaran simplemente a reconocer el cambio en los fenómenos bajo estudio a partir de las decisiones tomadas a través de los simuladores. Por lo tanto, esto permitía a los estudiantes reformular sus acciones para alcanzar mejores resultados.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J. E. Gonzalez Barajas, J. C. Rodriguez Ribon, H. H. Andrade Sosa, R. Manrique Estupiñan, and O. Insuasty Burbano, "Propuesta de un modelo de simulación para el cultivo de la caña panelera bajo el enfoque sistemático," Bucaramanga, 1997.
- [2] J. Y. Ardila Muñoz, G. M. Trespacios Meneses, and H. H. Andrade Sosa, "Propuesta de modelo económico de la producción de panela bajo el enfoque sistémico," Bucaramanga, 1997.
- [3] U. E. Gómez Prada and H. H. Andrade Sosa, Lineamiento metodológicos para la construcción de modelos agro-industriales identificables en términos de dinámicas poblacionales basados en pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas. Bucaramanga, 2010.
- [4] N. Martínez Rojas, U. E. Gómez Prada, and H. H. Andrade Sosa, Modelo de simulación con DS para el aprendizaje de la cadena productiva del cacao. Bucaramanga, 2012.
- [5] J. F. Garavito Suarez, U. E. Gomez Prada, H. H. Andrade Sosa, and C. A. Vasquez Cardozo, "Ecogranja herramienta software para el diseño de granjas integrales agropecuarias, un enfoque Dinámico Sistémico," Bucaramanga, 2012.
- [6] J. J. Castro Castro, M. R. Zambrano Urbina, H. H. Andrade Sosa, and G. P. Maestre Góngora, "Ambiente software integrado por un juego para teléfonos móviles, un sitio web y una aplicación para computador personal, para el aprendizaje y toma de decisiones versión 2.0," Bucaramanga, 2012.
- [7] H. H. Andrade Sosa, L. C. Gómez Florez, E. E. Rallón Noriega, and N. J. Rey Quiñonez, "JdIC2002:

Herramienta Software basada en el Juego de la Cerveza para el desarrollo de competencias de Aprendizaje Organizacional," 2002.

[8] H. H. Andrader Sosa, I. Dyner, A. Espinosa, H. López Garay, and R. Sotaquirá, Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2001

## 88. MODELING THE EVOLUTION OF RESOURCES AND CAPABILITIES OF UTILITIES IN THE TRANSFORMATION OF THE POWER INDUSTRY

**GRACE QUICENO**

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano  
grace.quicenos@utadeo.edu.co

**ISAAC DYNER**

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano  
isaac.dynerr@utadeo.edu.co Lozano

**CLAUDIA ÁLVAREZ**

Universidad EAFIT  
calvar44@eafit.edu.co

### ABSTRACT

This paper presents a System Dynamic simulation to model the role of the resources and capabilities in the transformation of an Electric Utility due to the technological transformation in the energy sector in Colombia. Preliminary results show that the adoption or not of renewable energy affect the the composition of the energy market which requires the development of new and different sets of resources and capabilities in the electric utilities.

**KEYWORDS:** energy transformation, resources and capabilities, system dynamics.

### I. INTRODUCTION

In response to concerns about global warming, the fast penetration of renewables has been a major alarm for electric utilities around the the world. The use of energy from renewable sources has increased about nearly 2%/yr [1] since 1990 but in the last five years, this rate has increased to about 5% annually. As a result, the world power generation capacity now accounts for 27.7% from renewable sources. This capacity has increased from around 800 GW in 2004 to about 1,712 GW in 2014 [2]. Most of this renewable energy comes from large-scale hydropower (about 1,055 GW) and wind power (about 370 GW), while other renewable technologies provided some 287 GW.

Technological change represents a defining challenge to electric utilities as the penetration of renewable energy threatens their traditional business models [3]. In the face of increased competition, unstable regulatory frameworks and rapid technological changes, sustainable competitive advantage is profoundly

important to utility firms; however, these factors can undermine their mid-term survival [4]. For example, while in the last 5 years the major European thermal generators have lost market value (e.g. RWE, -65%; E.ON, -50%; and EDF, -3.5%), companies that generate energy from renewable sources have increased their market value: IBERDROLA (+8.8%), SunEdison (+143%), and SolarCity (+386.6%). Utilities, which for most of their history barely engaged with customers, are being forced to reinvent themselves and adapt to a technological revolution in home energy services, installing smart technology and advising them on how to reduce their bills. In this context, strategic decision makers in utilities are using different tools, including SD (system dynamics) modelling and simulation, to assess their strategies. System dynamics modelling can help to explore a resource-based strategy through simulation [5].

This paper focuses on modeling resources and capabilities transformation of an electric utility to adapt to the discussed energy technological transformation

set-up – a case study is discussed for the Colombian case. This paper is structured as follows: Section I shows the literature review. Section II discusses the used methodology. Section III presents the preliminary results and discussion. Finally, the conclusions of this paper can be found in Section IV.

## I. LITERATURE REVIEW

### *Resources and Capabilities*

The theory of resources and capabilities has its origins in research made by Penrose (1959) [6], who described the firm as a set of resources. Its name was given by Wernerfelt (1984) [7] and has contributions of different authors such as Barney (1991) [8], Teece, Pisano and Shuen (1990) [9], and Grant (1991) [10].

Possession and accumulation of resources generate strategic assets, which are a set of resources and capabilities that are scarce, appropriable, specialized difficult to sell and imitate, and they give the company a competitive advantage.

In this context, the resources and capabilities theory emphasizes the causes of competitiveness in the organizations [10]. Thus, in addition to generating income, the heterogeneity of the resources and their immobility, they also provide barriers to entry to potential competitors. Resources are basic inputs necessary for the operation of the production process, including items such as capital equipment, individual skills of employees, patents, trademarks, among others.

Capacities are defined as the knowledge and skills arising from the organization, which are developed by sharing information based on the human capital of the company [11]. The firm must have substantial capabilities for competitive advantage, to respond to the opportunities presented in the market, while neutralizing external threats and avoid internal weaknesses. In this approach, the capabilities are the skills that the organization has taken from the employees regardless of the run.

Resources and capabilities can be the steering axis for developing long-term strategies, because they give the organization a sense of identity [10].

### *Technological Transformation*

Power systems around the world have begun a process of profound transformation, driven by the emergence of new technologies and the growing concerns for local and

global environmental stewardship [12], which is influenced both by seeking to reduce greenhouse gas (GHG), as the increase in energy demand, especially in developing countries, as well as the efficient use of energy.

Industrialized societies are evolving towards low-carbon economies through technological change [13] [14] [15]. Technological measures include fuel switching (i.e. coal to natural gas), adoption of renewable energy sources, installing carbon capture and storage systems and the transition to higher efficiency energy conversion technologies [16].

Distributed power generation and storage technologies will likewise create the need for new grid architectures, business models, and strategy decision-making approaches [12].

## II. METHODOLOGY

The strategic resources and capabilities of a firm build a system of interdependencies and feedback loops, so that resources and capabilities ultimately influence among themselves. In this sense, systems of resources and capabilities are not stable over time, meaning that resources and capabilities develop and decay dynamically and their relationships change [17]. Such dynamics have always been fundamental to research in system dynamic [18].

SD is a simulation-based approach developed by Jay W. Forrester at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) around 1950, which helps understanding the behavior of complex systems, by means of considering future scenarios, usually for the purpose decision-making [19].

### *Dynamic Hypothesis*

Technological transformation represents challenge to electric utilities, as seen before, thus they need to adapt their resources and capabilities in their business models. In this dynamic hypothesis the firm participates in the generation and commercialization businesses (Figure 1). This hypothesis has six cycles. The first cycle -C1- shows that the higher the demand of electricity the lower the margin, producing an opposite effect on the electricity price, which, in turn, influences the demand negatively. Cycle two -C2 and C2\*- represents how the capacity is influenced by the possibility for the companies to invest in new capacity due to a higher income because of an increase in the electricity price.

This additional capacity increases the system margin, with a negative effect on the electricity price. These two coupled cycles represent the electricity market.

In the cycle three -C3- solar adopters affect the learning curve, which in turn influence the solar prices, and when the price fall, solar adopters increase. Cycle four -C4-

shows that when there are more solar adopters new business opportunities for the firm come out, so that they have to develop new commercial capabilities to increase the marketing in solar technologies, increasing the solar adapters. The latter represents the internal transformation of the firm, related to its commercial capabilities.

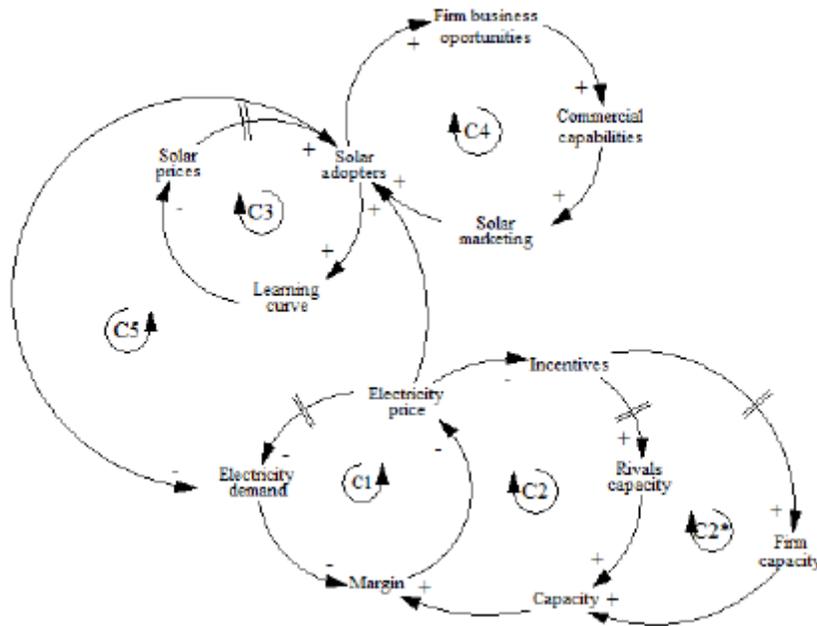


Figure 1. Dynamic Hypothesis of the business model

Finally, cycle five -C5- characterizes how the electricity price incentives the solar adopter when it is high, so the electricity demand of the market is affected negatively. Based on the dynamic hypothesis, a simulation model was built to analyze the role of resources and capabilities in the transformation of an Electric Utility. The system dynamics model was parameterized with data from the Colombian electricity sector and one of the mayor electric utility to perform simulations for the period between 2015 and 2025. The next scenarios were considered:

- BAU (Business as usual): There is not adoption of renewable energy and technologies.
- Renewable: in this scenario there is an adoption of renewable energy and technologies (Solar PV).

### III. RESULTS ANALYSIS

Next, this paper presents preliminary results under the two scenarios previously described.

#### External Analysis

In this section we analyze the electricity market behavior. Figure 2 shows the power demand in MW. In BAU scenario the power demand increases mainly from traditionals and renewables demand is scarce. In the Renewable scenerario there is an adoption of renewable energy considering an adoption rate of 3% annually, thus the power demand from traditioinal is lower than in the BAU scenario as the renewable demand increases.

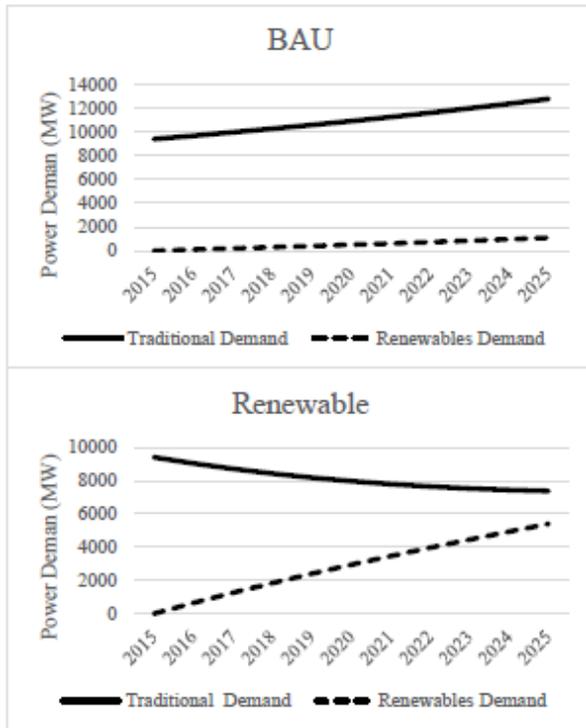


Figure 2. Power Demand

In the long run the demand of renewables will be higher than the demand from traditional.

Figure 3 presents the installed capacity of the system where in the first scenario (BAU) the capacity is given mostly by the traditional energy, while in the second scenario (Renewable) the installed capacity comes either from the traditional and renewable energy.

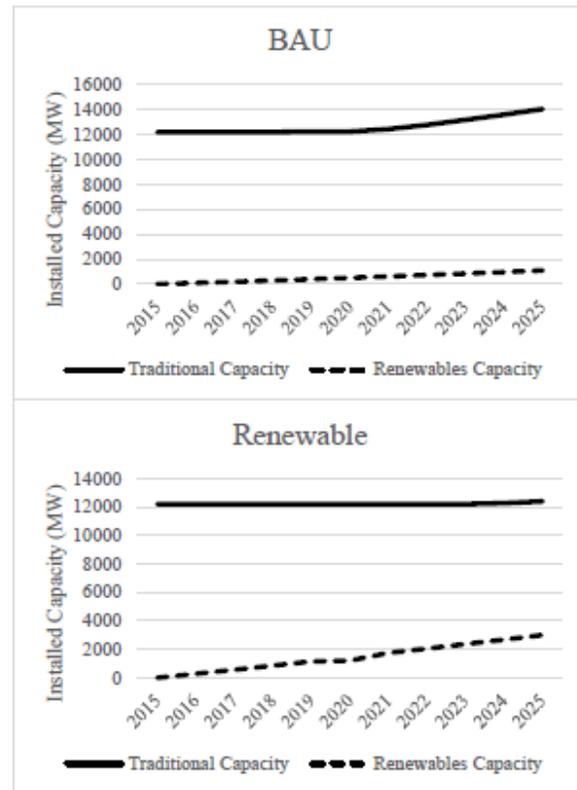


Figure 3. Installed Capacity

In the Renewable scenario there is not a drop in the installed capacity of traditional sources as is not easy to retire the existing plants.

### Internal Analysis

Here we analyze the impacts on the company, mainly on the commercial capabilities. Figure 4 displays the clients of the company in both scenarios. As seen, in BAU scenario there are few clients demanding renewables sources (solar PV), but in renewable scenario some clients move from the traditional energy to the renewable energy. An important thing to highlight is the fact the clients, in Renewable scenario, keep demanding traditional sources because this is more reliable energy.

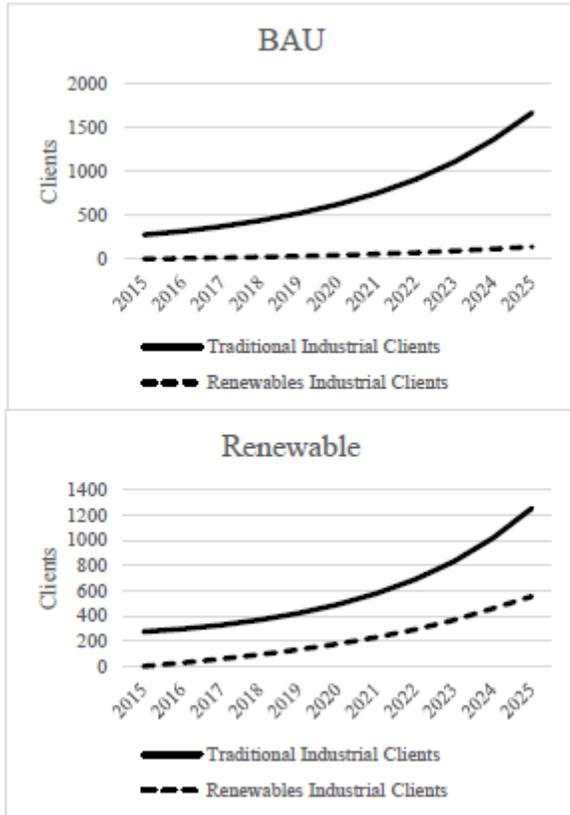


Figure 4. Clients

In the commercial area there should be recruitment of more people as the number of clients increases in order to be able to attend them. These commercial people should also capture clients from the competence, thus they have to be very efficient. The figure shows the commercial capability of the company understood as the number of people in the commercial area necessary to attend the clients. As seen in figure 5, the need for more people in the commercial area is higher in the Renewable scenario than in Bau scenario.

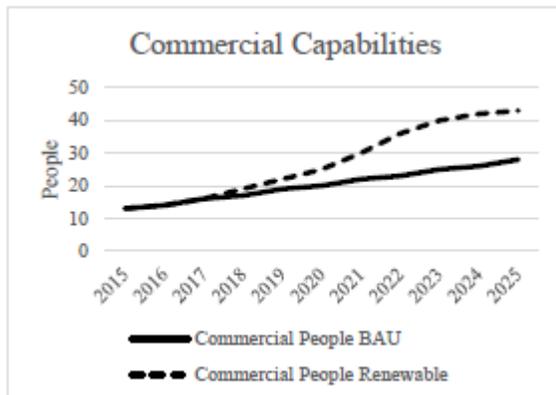


Figure 5. Commercial people

Here we do not consider a division in this area into two different subareas attending traditional or renewable clients.

#### IV. CONCLUSION

The results presented are only indicative, as this is a preliminary study. According to this, the results presents the tendencies about the composition of the installed capacity and electricity demand in Colombia considering the adoption or not of renewable energy and how this affect the generation and commercialization capabilities of an electric utility.

As shown before the adoption or not of renewable energy affect the the composition of the energy market which implies changes in the electricity matrix and also the development of new and difetent capabilities in the companies. In this case we considered only the commercial capabilities but there should be aditional study in how this area should be divided into two different areas in order to attend the clients from traditional or renewable energy.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank all the people and the firm that have supported the research process.

#### REFERENCES

- [1] Turkenburg, W. C., D. J. Arent, R. Bertani, A. Faaij, M. Hand, W. Krewitt, E. D. Larson, J. Lund, M. Mehos, T. Merrigan, C. Mitchell, J. R. Moreira, W. Sinke, V. Sonntag O'Brien, B. Thresher, W. van Sark, E. Usher and E. Usher. Chapter 11 - Renewable Energy. In *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, pp. 761-900, 2012.
- [2] REN21. *Renewables 2015 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat, 2015.
- [3] D.J. Teece, "Business models, business strategy and innovation". *Long Range Planning*, vol. 43, iss. 2-3, pp. 172-194, 2010.
- [4] A. N. Shah, M. Palacios, & F. Ruiz. "Strategic rigidity and foresight for technology adoption among electric utilities", *Energy Policy*, vol 63, pp. 1233-1239, 2013.
- [5] M. H. Kunc and J. D. W. Morecroft, "Resource-Based Strategies and Problem Structuring: Using Resource Maps to Manage Resource Systems", *The Journal of the*

- Operational Research Society, vol. 60, iss. 2, pp. 191-199, 2009.
- [6] E.T. Penrose. *The Theory of Growth of the Firm*. Wiley: New York, 1959.
- [7] B. Wernerfelt, "A Resource Based View of the Firm", *Strategic Management Journal*, vol. 5, iss. 171-180, 1984.
- [8] J.B. Barney, "Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, vol. 17, iss. 1, pp. 99-120, 1991.
- [9] D.J. Teece, G. Pisano, & A. Shuen, "Firm Capabilities, Resources and the Concept of Strategy", Consortium on Competitiveness and Cooperation. University of California, Centre for Research in Management, Berkeley, Working Paper # 90-9, 1990.
- [10] R. Grant, "The Resource-Based Theory of Competitive Advantage: Implications for Strategy Formulation", *Knowledge and strategy*, vol. 33, iss 3, pp. 3-23, 1991.
- [11] A. Cuervo, "El Papel de la Empresa en la Competitividad". *Papeles de Economía Española*, iss. 56, pp. 363-378, 1993.
- [12] M. Bazilian, P. Nussbaumer, H-H. Rogner, A. Brew-Hammond, V. Foster, S. Pachauri, E. Williams, M. Howells, P. Niyongabo, L. Musaba, B.T. Gallachóir, M. Radka, & D.M. Kammen, "Energy access scenarios to 2030 for the power sector in sub-Saharan Africa". *Utilities Policy*, vol. 20, iss. 1, pp. 1-16, 2012.
- [13] S. Pacala, & R. Socolow, "Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies". *Science*, vol. 305, iss. 5686, pp. 968-972, 2004.
- [14] M. Meinshausen, N. Meinshausen, W. Hare, S.C.B. Raper, K. Frieler, R. Knutti, D.J. Frame, M.R. Allen, "Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2C", *Nature*, iss. 458, pp. 1158-1162, 2009.
- [15] M. Z. Jacobson, & M.A. Delucchi, "Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials". *Energy Policy*, iss. 39, pp. 1154-1169, 2011.
- [16] E. A. Mohareb, & C. Kennedy, "Scenarios of technology adoption towards low-carbon cities". *Energy Policy*, iss. 66, pp. 685-693, 2014.
- [17] A. Gröbler, "A dynamic view on strategic resources and capabilities applied to an example from the manufacturing strategy literature", *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 18 iss. 3 pp. 250 - 266, 2007.
- [18] M. S. Gary, M. Kunc, J.D. Morecroft, & S. F. Rockart. "System dynamics and strategy". *System Dynamics Review*, vol.24, iss 4, pp. 407-429, 2008.
- [19] J.D. Sterman, *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: Irwin/McGraw-Hill., 2000.

## 89. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRANSFORMACIÓN TECNOLÓGICA EN EL MERCADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COLOMBIANO

**LAURA MEJÍA DUQUE; ISAAC DYNER**

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano - Colombia  
lauramejiaduque2202@hotmail.com, isaac.dynerr@utadeo.edu.co

**CLAUDIA ÁLVAREZ.**

Universidad EAFIT - Colombia  
calvar44@eafit.edu.co

### RESUMEN

Este artículo evalúa la forma cómo el país debe desarrollar algunos de sus recursos y capacidades para fomentar la transformación tecnológica de generación de energía, e impulsar la energía eólica y solar; utilizando como herramienta de modelación la Dinámica de Sistemas. Se encuentra que las políticas públicas subsidiarias o crediticias juegan un papel importante en la adopción de tecnologías renovables de generación y que a medida que aumenta la educación y el número de personas capacitadas, la adopción en tecnologías es más alta y más favorable. En un escenario más negativo en la adopción de tecnologías renovables, se encuentra que las capacidades en las principales tecnologías de generación de electricidad con fuentes renovables, se comportan de manera similar, por ser un índice, no obstante se requiere menos desarrollo en recursos tales como, personas capacitadas, redes inteligentes y lugares para formación.

**KEYWORDS:** Transformación tecnológica, Recursos y capacidades, Fuentes renovables de energía, dinámica de sistemas.

### I. INTRODUCCIÓN

La generación de energía en el mundo vive una importante transformación, remplazando fuentes tradicionales fósiles por fuentes renovables. Las principales explicaciones que se dan para este proceso de cambio incluyen: el paulatino agotamiento de combustibles fósiles tradicionales, la emisión de gases de efecto invernadero y la necesidad de seguridad energética a nivel mundial. Debido a esto, y bajo las condiciones de apoyo actuales, como los subsidios, muchos países se han volcado hacia la generación a través de fuentes renovables, lo cual ha promovido innovaciones y cambios en las tecnologías.

El cambio tecnológico se favorece con inversiones cuantiosas en investigación, innovación y desarrollo (I&D+I), tanto desde el sector público como privado. Claramente, las inversiones públicas globales aumentaron de manera significativa en respuesta a la crisis del petróleo de los años 1970s, declinaron

precipitadamente durante la década de 1980, y se han mantenido estables desde entonces (y es probable que las inversiones privadas sigan la misma tendencia). Frente a los enormes desafíos del cambio climático global y la cada vez mayor dependencia del petróleo, no ha habido un aumento análogo en inversiones como ocurrió a finales de 1970, ya sea público o privado [1].

A partir de la primera década del siglo XXI ha aumentado el interés por el desarrollo de alternativas a los combustibles fósiles, especialmente la energía nuclear (frenada por la tragedia de Fukushima) y las energías renovables. Adicionalmente, los gobiernos han empezado a identificar que la industria de las tecnologías de energía renovable puede promover el crecimiento económico y la competitividad internacional y puede ofrecer nuevas oportunidades de negocio y empleo [2]. Por tal motivo, las inversiones en energías y combustibles renovables, a nivel global, se estimaron en USD \$270 billones, en el año 2014, 16% más que en 2013 [3].

En Colombia el cambio hacia tecnologías energéticas más baratas y eficientes es aún incipiente, contando con solo 19,5MW de potencia de energía eólica y algunos sistemas fotovoltaicos, utilizados principalmente de manera experimental. Sin embargo, se visualiza un futuro prometedor asociado a la estabilidad energética del país, a la conciencia ambiental colectiva que va en crecimiento y a las altas potencialidades del país para la generación con recursos eólicos y solares.

Desde cualquier perspectiva, para comprender las amenazas y oportunidades que ofrece esta transformación tecnológica en energía, es fundamental entender el papel del gobierno, de los centros de investigación innovación y desarrollo (I&D+I), de las organizaciones industriales, y de los consumidores. Los gobiernos tienen el papel fundamental de promover e incentivar el desarrollo y la implantación de nuevas tecnologías de alto rendimiento y bajo costo. Además de reforzar el papel de la tecnología y la innovación en la política energética. Los centros de I&D+I enfrentan el reto de poner en el mercado los nuevos productos a través de sus iniciativas, no sólo con tecnologías específicas, sino también mediante la activación de nuevos modelos de negocio, de la adaptación del mercado, y de mejoras en el sistema de energía que ofrezcan una perspectiva estratégica a largo plazo para las inversiones.

Las organizaciones industriales y los consumidores, a su vez, desde otras perspectivas, son los promotores fundamentales del cambio tecnológico en la generación de energía, ya que están demandando servicios más baratos y limpios para el ambiente impulsando las nuevas tecnologías en generación y exigiendo a sus empresas estar a la vanguardia del desarrollo sostenible.

La penetración de las nuevas tecnologías conduce a cambios tanto en el mix energético, al igual que en otros elementos impulsores, como son los precios y los costos relativos, las políticas de promoción de la eficiencia energética, las energías renovables, las nuevas tecnologías y las tendencias de mercado con respecto a la eficiencia económica y a un mejor uso de los recursos [4].

Evaluar diferentes políticas que fomenten la transformación tecnológica en energía en Colombia, basados en los recursos y capacidades del país, y utilizando la Dinámica de Sistemas como metodología, es la razón fundamental del desarrollo de esta

propuesta de investigación, la cual puede llegar a proveer herramientas contundentes para la toma de decisiones frente a los cambios a afrontar por el país. Para esto se hace necesario identificar el potencial que tiene Colombia para establecer ventajas frente a cambios tecnológicos, e identificar y valorar los recursos y habilidades que se poseen o a los que puede acceder o fomentar, centrando su atención en el análisis de recursos, en las capacidades que presenta, y en la importancia que este hecho tiene para explicar la evolución de sus resultados [5].

## II. APROXIMACIÓN A LA TEORÍA DE RECURSOS Y CAPACIDADES

El origen de la Teoría de Recursos y Capacidades se sitúa hacia el año 1984, con la publicación del artículo «The resource-based view of the firm» del profesor Birger Wernerfelt [6] (profesor de Marketing en la Sloan School of Management del MIT), trabajo que posteriormente dio nombre a esta corriente del pensamiento. En concreto, el enfoque de la Teoría de Recursos y Capacidades trata de explicar los motivos por los cuales las empresas, que desarrollan su actividad en el mismo entorno competitivo y que, estarían sujetas a los mismos factores de éxito identificados en el sector económico, obtienen niveles de rentabilidad diferenciados [7].

Desde este enfoque metodológico, se pretende hacer un símil, que pueda ser aplicado a nivel país, donde se evalúan los recursos y las capacidades a desarrollar para la transformación tecnológica e impulso a la generación con fuentes renovables de energía, como la eólica y la solar. De igual forma se desea determinar, cuales políticas públicas se deben implementar para fomentar dicha transformación, y como los cambios en los patrones de consumo de la población harán que cambien las capacidades del país. Todo esto con el fin de impulsar la diversificación tecnológica, en generación de energía y promover cambios que lleven al país a nuevos desarrollos y mejores oportunidades.

En general, este nuevo análisis en materia de tecnologías energéticas del país, no supone romper con los modelos anteriores, en generación de electricidad, sino que busca superarlos, complementarlos y respaldarlos. Siendo así, y bajo la evaluación de la teoría de recursos y capacidades, aplicada al país, (al igual que se haría con una empresa), este pasaría a ser considerado como un conjunto de tecnologías, habilidades, conocimientos, que se generan y amplían

con el tiempo, es decir, como una combinación única de recursos y capacidades heterogéneos, [8] lo que le aporta al país un pleno de reconocimiento de sus posibilidades y de las necesidades para avanzar en el desarrollo económico y social desde el sector energético, en especial, el sector de generación de energía eléctrica.

Para analizar las posibles transformaciones se utilizarán modelos de simulación que permitan evaluar cómo cambia el sistema según las capacidades impulsadas desde el país, desde el cambio en los parámetros de consumo de la población o desde la implementación de soluciones hacia las necesidades que se presentan para impulsar el desarrollo, como la formación educativa, o las necesidades en recursos técnicos e infraestructura.

### III. METODOLOGÍA

Los modelos de simulación tienen la capacidad de sintetizar el conocimiento generado alrededor de un tema [9]. Un modelo puede entenderse como un facsímil de la realidad, una representación (más pequeña, menos detallada, menos compleja) de alguna estructura o sistema, que se usa para entender el mundo [9] [10] [11]. Según Stephen Hartmann (1996), una simulación es una técnica que habilita a los científicos para imitar un proceso con otro [12], experimentando con un modelo bajo diversos escenarios con algún objetivo en mente [9][10].

La Dinámica de Sistemas (DS) se ha consolidado como una técnica de modelado tradicional en las ciencias sociales [13], en la cual el foco ha estado en la estimación de los cambios globales del sistema modelado, teniendo en cuenta las interrelaciones que tiene dicho sistema con su medio ambiente. La técnica se considera en la actualidad promisoría dentro del denominado "economía compleja" [14], especialmente en lo relativo a los temas ambientales y de sostenibilidad [15]. Los modelos en dinámica de sistemas describen el fenómeno de interés usando un conjunto de ecuaciones diferenciales que agregan el comportamiento de los individuos o grupos de individuos y el ambiente que ellos habitan [16][17][11] y que, como consecuencia, reproducen el comportamiento no lineal de los sistemas modelados. De esta manera, los modelos en dinámica de sistema consideran los efectos de los retardos en las acciones emprendidas y la retroalimentación entre las variables [18] [19][20]. Las preguntas de investigación que se abordan con los modelos en DS están formuladas en términos de cuales condiciones

específicas afectarán la estabilidad del sistemas [21], además permite versatilidad, fortaleza y utilidad como herramienta para la evaluación de políticas y estrategias. Su potencial no radica en la capacidad predictiva, sino en la posibilidad de apoyar el diseño de políticas. Los resultados obtenidos son por tanto, trayectorias posibles, deducidas del examen de diversas políticas en la conducción de entidades [22] [20].

#### Hipotesis Dinamica

En la figura 1 se puede observar una hipótesis dinámica donde se evalúan las alternativas de transformación del mercado eléctrico colombiano, el cual está compuesto de varios ciclos de balanceo y refuerzo, el primer y segundo ciclo de realimentación explican las variables que definen el funcionamiento actual del sistema de electricidad, el tercer ciclo, explica como el uso de tecnologías renovables y el consumo de las mismas afecta la demanda de electricidad del sistema interconectado, de una manera negativa, el cuarto ciclo, explica como se presenta la adopción de tecnologías renovables en el país y que variables influyen en la misma, es ahí donde se tiene en cuenta el precio de las tecnologías renovables de generación, las curvas de aprendizaje, la educación y capacitación frente a las mismas y las capacidades que debe desarrollar el país, para facilitar la inserción de estas nuevas tecnologías en el medio.



Figura 1. Hipotesis dinamica

Con base en la hipótesis dinámica antes planteada, con respecto al comportamiento de la inserción de tecnologías renovables para generación, y los recursos y capacidades a desarrollar, se construyó un modelo de simulación para analizar las variables que influyen en la adopción de energías renovables. El modelo de dinámica de sistemas se configuró con los datos del sector eléctrico colombiano, para realizar simulaciones durante el período comprendido entre 2015 y 2055

### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados preliminares, obtenidos bajo la utilización del modelo de simulación,

aquí se analizarán las capacidades que debe desarrollar el país, para la generación con fuentes renovables de energía, y algunos datos importantes de la generación con energía solar. Se presentan dos escenarios, el primero es un escenario optimista de alta tasa de adopción y el segundo es un escenario más negativo donde el índice de adopción es mucho más bajo.

Escenario optimista, Alta tasa de adopción.

### Energía solar



Figura 2. Tasa de adopción Energía Solar

Para hallar la tasa de adopción se hizo la suposición, de que está, crecería el 50% de la diferencia entre el costo de la energía tradicional y el costo de la energía producida por paneles solares, como resultado se obtuvo, que cuando la energía tradicional tiene un costo más bajo que la energía producida por paneles solares, la tasa de adopción es cero, luego cuando los precios de la energía solar bajan, debido a mecanismos de apoyo del estado o por un alza en el precio de la electricidad, la tasa de adopción fluctúa a lo largo de los años encontrando su mayor valor de 0,5% alrededor del año 2040, luego vuelve a decaer bajo la suposición de que se ha presentado la mayor adopción posible, según el mercado colombiano.



Figura 3. Número de Usuarios que adoptan energía solar

Bajo la tasa de adopción hallada, el crecimiento de los usuarios que generan electricidad con tecnología solar, se evidencia de manera paulatina entre los años 2015 y

2040, cuando la tasa de adopción sube en el año 2040, el número de usuarios que adoptan energía solar crece rápidamente.

### Energía eólica

El análisis del crecimiento de la energía eólica, fluctúa de una manera diferente a la energía solar, puesto que la generación mediante los recursos eólicos, no está dada por los usuarios, sino por las políticas empresariales que busquen la expansión de su capacidad de generación en el mercado de energía eléctrica, mediante alternativas diferentes a las ya utilizadas, como son la energía hidráulica y la energía térmica.

Análisis de los recursos y capacidades a desarrollar

La evaluación de las capacidades, se hizo mediante un índice entre 0 y 1, para indicar el impacto de las variables en cada una de las tecnologías evaluadas. Cuando el índice es cero, o tiende a cero, las capacidades son bajas, cuando el índice es uno o tiende a uno se poseen recursos y capacidades bajo la tecnología evaluada y las variables que la afectan.

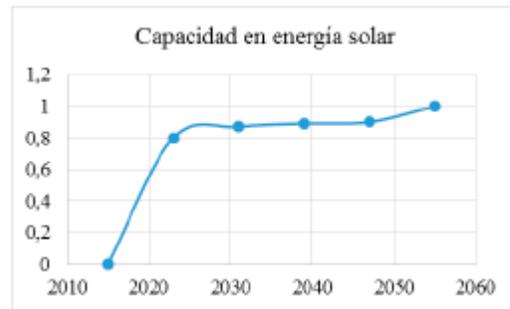


Figura 4. Capacidades en energía solar

Para evaluar las capacidades que requería el país frente a la energía solar, se evaluó los recursos que se poseían frente a la generación solar y los que se requería, bajo la adopción que se presenta en el mercado. Frente a los recursos que se poseían se evaluó, el número de personas capacitadas, el número de personas a capacitar, la inversión en infraestructura.

Los resultados obtenidos, arrojaron que inicialmente en el año 2015, no se poseen capacidades frente a la tecnología solar, para generación de energía, debido a la falta de personal capacitado, a la falta de infraestructura y también a la baja adopción de dichas tecnologías. A medida que aumenta la adopción de tecnologías solares, bajo el requerimiento del mercado aumentan las capacidades del país, por ende aumenta

la infraestructura y las personas capacitadas en el tema entre otros.

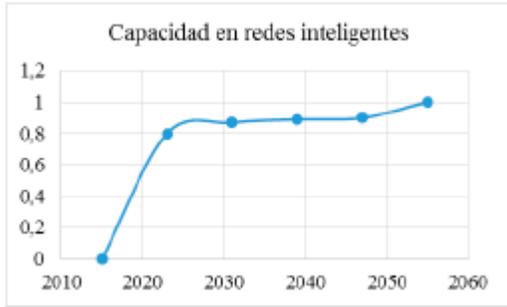


Figura 5. Capacidades en redes inteligentes

Para evaluar las capacidades en redes inteligentes se evaluaron los recursos que se poseen en redes inteligentes y los recursos que se necesitan, bajo el número de usuarios que adoptan tecnología solar, debido a que la adopción de tecnologías solares genera la necesidad de medidores bidireccionales y redes inteligentes.

Los resultados obtenidos, se comportan de manera similar a las capacidades en energía solar, debido a que las tecnologías son complementarias y necesarias entre sí.

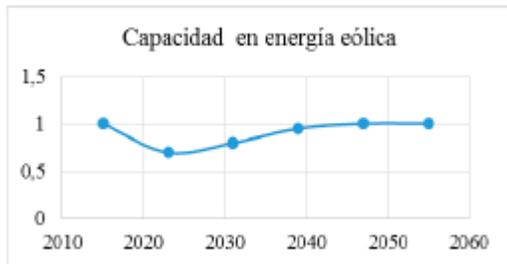


Figura 6. Capacidades en energía eólica

Las capacidades del país, frente a la energía eólica, al igual que las demás tecnologías, se evaluaron bajos los recursos que se tenían y los que se necesitan para el desarrollo del país.

Los resultados obtenidos, arrojaron que inicialmente en el año 2015, la capacidad en energía eólica es uno, debido a que el país posee recursos eólicos, aunque no sean de gran envergadura, y se tienen los recursos para la cantidad de energía eólica que se poseen. A partir del 2018 las capacidades disminuyen bajo la premisa de la inversión en energía eólica por parte de las grandes empresas y la falta de recursos técnicos capacitado, que atiendan las necesidades del mercado, pero igual que se generan las necesidades, el mercado va supliendo las necesidades de recursos y se genera mayor

capacitación y conocimiento de las tecnologías en el país.

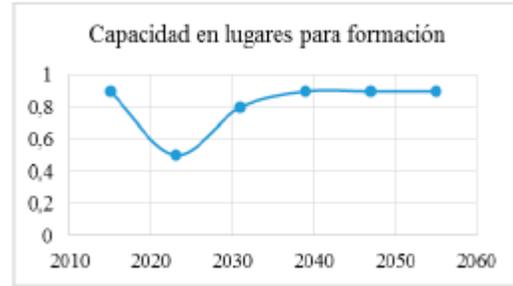


Figura 7. Capacidades en lugares para formación

Frente a las capacidades para los lugares para formación en tecnologías renovables de generación de electricidad, al igual que las demás capacidades, el índice, se midió bajo los recursos que poseen, y los recursos que se requieren debido a la demanda del mercado.

Inicialmente el índice tiende a uno, debido a que el país actualmente cuenta con recursos técnicos capacitados, pero la demanda en tecnologías renovables aun no es muy alta por las condiciones del mercado. A medida que aumenta la adopción la cantidad del recurso capacitado disminuye según las necesidades y los lugares de capacitación se vuelven pocos, frente a los recursos requeridos. Al igual que las demás tecnologías a medida que aumenta la demanda, aumenta el mercado y el índice en lugares para formación tiene a uno, en algunos momentos incluso la cantidad de recursos técnico tiende a ser mayor, debido a la popularidad frente a los recursos renovables para generación de energía eléctrica

Escenario Negativo. Baja tasa de adopción

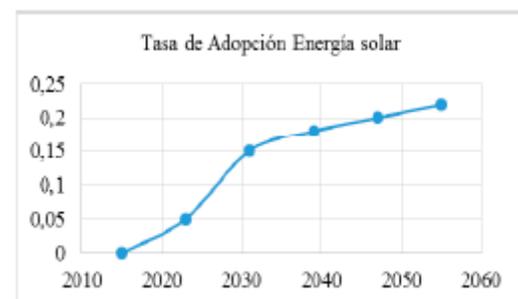


Figura 8. Tasa de Adopción de Energía Solar, escenario bajo

Como se observa en la figura, en un escenario más negativo frente a la adopción de energías renovables, la tasa de adopción bajo considerablemente, siendo su máximo valor el 0,2% de tasa de adopción.



Figura 9. Número de usuarios que adoptan energía solar, escenario bajo

Al igual que baja la tasa de adopción el número de usuarios que adoptan energía solar, en un escenario más negativo también disminuye considerablemente alcanza un valor máximo de 8000 usuarios que adoptan energía solar.

Las capacidades en energía solar, en redes inteligentes, en energía eólica y en lugares para formación se comportan de manera similar, puesto que las capacidades se miden como índice, entre los recursos que se tienen y los que se requieren, no obstante al disminuir la tasa de adopción y el número de usuarios, disminuye también las necesidades de personas capacitadas de redes inteligentes y de lugares de formación, por lo tanto el país debe hacer menos inversión en recursos para el desarrollo de tecnologías de generación de energía eléctrica renovable.

## V. CONCLUSIONES

Las políticas públicas juegan un crucial papel para impulsar la adopción de energía solar por parte de los consumidores, los subsidios a la adopción, la disminución de aranceles, los créditos o formas de pago a largo plazo impulsarían benéficamente la adopción de tecnología solar para generación de energía eléctrica.

La adopción de energía eólica, en el país, depende de las políticas públicas del gobierno frente a los recursos de generación de electricidad, o de los intereses de las empresas privadas, en la inversión de dichas tecnologías, para expandir sus capacidades de generación de electricidad.

La educación en tecnologías renovables, es un recurso fundamental, en la necesidad del país, de desarrollar capacidades, según las demandas del mercado, para dar un impulso a la diversificación de la matriz eléctrica, mediante la adopción de nuevas tecnologías de generación.

El desarrollo de recursos y capacidades, se fundamentan bajo las necesidades que se presentan en el mercado, a medida que aumenta la demanda, la oferta va creciendo paulatinamente hasta llegar a un punto de equilibrio.

En un escenario de baja adopción de renovables, los recursos a desarrollar en personal capacitado, redes inteligentes y lugares para formación son mucho más bajos que en un escenario positivo, sin embargo las capacidades en energía eólica, energía solar y redes inteligentes se comportan de manera similar, ya que este es un índice que relaciona los recursos que se poseen y los que se requieren.

## REFERENCIAS

- [1] Gallagher, K. S., Holdren, J. P., & Sagar, A. D. (2006). Energy-Technology Innovation. *Annual Review of Environment and Resources*, 31, 193-237.
- [2] Sung, B., & Song, W.-Y. (2013). Causality between public policies and exports of renewable energy technologies. *Energy Policy*, 55, 95-104.
- [3] REN21. (2014). *Renewables 2014 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.
- [4] European Commission. (2014). *EU Energy, transport and GHG emissions trends to 2050. Reference scenario 2013*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- [5] P. Huerta Riveros, J. E. Navas López y P. Almodóvar Martínez, «La diversificación desde la teoría de recursos y capacidades,» Cuadernos de Estudios empresariales, Vols. %1 de %2ISSN :1131-6985, n° 14, pp. 87-104, 2014.
- [6] Z. Fernández Rodríguez y I. Suárez González, «La estrategia de la empresa desde una perspectiva basada en los recursos,» *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, vol. 5, n° 3, pp. 73-92, 1996.
- [7] J. Navas López y L. Guerras Martín, «La dirección estratégica de la empresa. Teoría y aplicaciones,» *Civitas*, vol. 3, 2002.
- [8] R. M. Grant, «Dirección estratégica. Conceptos, técnicas y aplicaciones,» *Civitas*, p. 155, 1996.
- [9] L. Cadavid, *Aproximación metodológica al análisis de la difusión de innovaciones en productos que utilizan tecnologías limpias considerando elecciones individuales de adopción*, Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, 2015.
- [10] O. Balci, «A methodology for certification of modeling and simulation applications,» *ACM Transactions on modeling and Computer simulation*, vol. 11, n° 4, pp. 352-377, 2001.

- [11] N. Gilbert y K. Troitzsch, «Simulation for the social Scientist,» McGraw-Hill Education, vol. Second Edition, p. 295, 2005.
- [12] S. Hoffman, «Simulation as a Social Process in Organizations.,» *Sociology compass*, vol. 1, n° 2, pp. 613-636, 2007.
- [13] N. Gilbert, «A simulation of the structure of academic science.,» *Sociological Research Online*, vol. 2, n° 2, pp. 1-17, 1997.
- [14] W. Arthur, «Complexity and the Economy,» *Science*, vol. 284, n° 5411, pp. 107-109, 1999.
- [15] T. Foxon, J. Kholer, J. Michie y C. Oughton, «Towards a new complexity economics for sustainability.,» *Cambidge Journal of Economics*, vol. 37, n° 1, pp. 187-208, 2013.
- [16] M. Macy y R. Willer, «From Factors to actors,» *Computational sociology and Agent-Based Modeling. Annual Review of sociology*, vol. 28, n° 1, pp. 143-166, 2002.
- [17] H. Rahmandad y J. Sterman, «Heterogeneity and network structure in the dynamics of diffusion: Comparing agent-based and differential equation models,» *Management Science*, vol. 54, n° 5, pp. 998-1014, 2008.
- [18] P. Cooley y E. Solano, «Agent-Based Model (ABM) Validation Considerations.,» En *SIMUL 2001, The third International Conference on Advances in System Simulation*, pp. 134-139, 2011.
- [19] J. Forrester, «Lessons from system dynamics modeling.,» Presentando en *Internayional Conference of the system Dynamics Society*, Sevilla, 1986.
- [20] J. Sterman, *Bussiness Dynamics. Systems thinking and modeling for a complex worl*, Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- [21] J. Davis, K. Eisenhardt y C. Bingham, «Developing theory through simulation methods.,» *Academy of managment review*, vol. 32, n° 2, p. 480, 2007.
- [22] I. Dyner, *Dinámica de sistemas y simulación continua en el proceso de planificación*, Colciencias. ISBN:9789589037249, 1993.



## 89. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRANSFORMACIÓN TECNOLÓGICA EN EL MERCADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COLOMBIANO

**LAURA MEJÍA DUQUE, ISAAC DYNER**

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano - Colombia  
lauramejiaduque2202@hotmail.com, isaac.dynerr@utadeo.edu.co

**CLAUDIA ÁLVAREZ**

Universidad EAFIT - Colombia  
calvar44@eafit.edu.co

### RESUMEN

Este artículo evalúa la forma cómo el país debe desarrollar algunos de sus recursos y capacidades para fomentar la transformación tecnológica de generación de energía, e impulsar la energía eólica y solar; utilizando como herramienta de modelación la Dinámica de Sistemas. Se encuentra que las políticas públicas subsidiarias o crediticias juegan un papel importante en la adopción de tecnologías renovables de generación y que a medida que aumenta la educación y el número de personas capacitadas, la adopción en tecnologías es más alta y más favorable. En un escenario más negativo en la adopción de tecnologías renovables, se encuentra que las capacidades en las principales tecnologías de generación de electricidad con fuentes renovables, se comportan de manera similar, por ser un índice, no obstante se requiere menos desarrollo en recursos tales como, personas capacitadas, redes inteligentes y lugares para formación.

**KEYWORDS:** Transformación tecnológica, Recursos y capacidades, Fuentes renovables de energía, dinámica de sistemas.

### I. INTRODUCCIÓN

La generación de energía en el mundo vive una importante transformación, remplazando fuentes tradicionales fósiles por fuentes renovables. Las principales explicaciones que se dan para este proceso de cambio incluyen: el paulatino agotamiento de combustibles fósiles tradicionales, la emisión de gases de efecto invernadero y la necesidad de seguridad energética a nivel mundial. Debido a esto, y bajo las condiciones de apoyo actuales, como los subsidios, muchos países se han volcado hacia la generación a través de fuentes renovables, lo cual ha promovido innovaciones y cambios en las tecnologías.

El cambio tecnológico se favorece con inversiones cuantiosas en investigación, innovación y desarrollo (I&D+I), tanto desde el sector público como privado. Claramente, las inversiones públicas globales aumentaron de manera significativa en respuesta a la crisis del petróleo de los años 1970s, declinaron

precipitadamente durante la década de 1980, y se han mantenido estables desde entonces (y es probable que las inversiones privadas sigan la misma tendencia). Frente a los enormes desafíos del cambio climático global y la cada vez mayor dependencia del petróleo, no ha habido un aumento análogo en inversiones como ocurrió a finales de 1970, ya sea público o privado [1].

A partir de la primera década del siglo XXI ha aumentado el interés por el desarrollo de alternativas a los combustibles fósiles, especialmente la energía nuclear (frenada por la tragedia de Fukushima) y las energías renovables. Adicionalmente, los gobiernos han empezado a identificar que la industria de las tecnologías de energía renovable puede promover el crecimiento económico y la competitividad internacional y puede ofrecer nuevas oportunidades de negocio y empleo [2]. Por tal motivo, las inversiones en energías y combustibles renovables, a nivel global, se estimaron en USD \$270 billones, en el año 2014, 16% más que en 2013 [3].

En Colombia el cambio hacia tecnologías energéticas más baratas y eficientes es aún incipiente, contando con solo 19,5MW de potencia de energía eólica y algunos sistemas fotovoltaicos, utilizados principalmente de manera experimental. Sin embargo, se visualiza un futuro prometedor asociado a la estabilidad energética del país, a la conciencia ambiental colectiva que va en crecimiento y a las altas potencialidades del país para la generación con recursos eólicos y solares.

Desde cualquier perspectiva, para comprender las amenazas y oportunidades que ofrece esta transformación tecnológica en energía, es fundamental entender el papel del gobierno, de los centros de investigación innovación y desarrollo (I&D+I), de las organizaciones industriales, y de los consumidores. Los gobiernos tienen el papel fundamental de promover e incentivar el desarrollo y la implantación de nuevas tecnologías de alto rendimiento y bajo costo. Además de reforzar el papel de la tecnología y la innovación en la política energética. Los centros de I&D+I enfrentan el reto de poner en el mercado los nuevos productos a través de sus iniciativas, no sólo con tecnologías específicas, sino también mediante la activación de nuevos modelos de negocio, de la adaptación del mercado, y de mejoras en el sistema de energía que ofrezcan una perspectiva estratégica a largo plazo para las inversiones.

Las organizaciones industriales y los consumidores, a su vez, desde otras perspectivas, son los promotores fundamentales del cambio tecnológico en la generación de energía, ya que están demandando servicios más baratos y limpios para el ambiente impulsando las nuevas tecnologías en generación y exigiendo a sus empresas estar a la vanguardia del desarrollo sostenible.

La penetración de las nuevas tecnologías conduce a cambios tanto en el mix energético, al igual que en otros elementos impulsores, como son los precios y los costos relativos, las políticas de promoción de la eficiencia energética, las energías renovables, las nuevas tecnologías y las tendencias de mercado con respecto a la eficiencia económica y a un mejor uso de los recursos [4].

Evaluar diferentes políticas que fomenten la transformación tecnológica en energía en Colombia, basados en los recursos y capacidades del país, y utilizando la Dinámica de Sistemas como metodología, es la razón fundamental del desarrollo de esta

propuesta de investigación, la cual puede llegar a proveer herramientas contundentes para la toma de decisiones frente a los cambios a afrontar por el país. Para esto se hace necesario identificar el potencial que tiene Colombia para establecer ventajas frente a cambios tecnológicos, e identificar y valorar los recursos y habilidades que se poseen o a los que puede acceder o fomentar, centrando su atención en el análisis de recursos, en las capacidades que presenta, y en la importancia que este hecho tiene para explicar la evolución de sus resultados [5].

## II. APROXIMACIÓN A LA TEORÍA DE RECURSOS Y CAPACIDADES

El origen de la Teoría de Recursos y Capacidades se sitúa hacia el año 1984, con la publicación del artículo «The resource-based view of the firm» del profesor Birger Wernerfelt [6] (profesor de Marketing en la Sloan School of Management del MIT), trabajo que posteriormente dio nombre a esta corriente del pensamiento. En concreto, el enfoque de la Teoría de Recursos y Capacidades trata de explicar los motivos por los cuales las empresas, que desarrollan su actividad en el mismo entorno competitivo y que, estarían sujetas a los mismos factores de éxito identificados en el sector económico, obtienen niveles de rentabilidad diferenciados [7].

Desde este enfoque metodológico, se pretende hacer un símil, que pueda ser aplicado a nivel país, donde se evalúan los recursos y las capacidades a desarrollar para la transformación tecnológica e impulso a la generación con fuentes renovables de energía, como la eólica y la solar. De igual forma se desea determinar, cuales políticas públicas se deben implementar para fomentar dicha transformación, y como los cambios en los patrones de consumo de la población harán que cambien las capacidades del país. Todo esto con el fin de impulsar la diversificación tecnológica, en generación de energía y promover cambios que lleven al país a nuevos desarrollos y mejores oportunidades.

En general, este nuevo análisis en materia de tecnologías energéticas del país, no supone romper con los modelos anteriores, en generación de electricidad, sino que busca superarlos, complementarlos y respaldarlos. Siendo así, y bajo la evaluación de la teoría de recursos y capacidades, aplicada al país, (al igual que se haría con una empresa), este pasaría a ser considerado como un conjunto de tecnologías, habilidades, conocimientos, que se generan y amplían

con el tiempo, es decir, como una combinación única de recursos y capacidades heterogéneos, [8] lo que le aporta al país un pleno de reconocimiento de sus posibilidades y de las necesidades para avanzar en el desarrollo económico y social desde el sector energético, en especial, el sector de generación de energía eléctrica.

Para analizar las posibles transformaciones se utilizarán modelos de simulación que permitan evaluar cómo cambia el sistema según las capacidades impulsadas desde el país, desde el cambio en los parámetros de consumo de la población o desde la implementación de soluciones hacia las necesidades que se presentan para impulsar el desarrollo, como la formación educativa, o las necesidades en recursos técnicos e infraestructura.

### III. METODOLOGÍA

Los modelos de simulación tienen la capacidad de sintetizar el conocimiento generado alrededor de un tema [9]. Un modelo puede entenderse como un facsímil de la realidad, una representación (más pequeña, menos detallada, menos compleja) de alguna estructura o sistema, que se usa para entender el mundo [9] [10] [11]. Según Stephen Hartmann (1996), una simulación es una técnica que habilita a los científicos para imitar un proceso con otro [12], experimentando con un modelo bajo diversos escenarios con algún objetivo en mente [9][10].

La Dinámica de Sistemas (DS) se ha consolidado como una técnica de modelado tradicional en las ciencias sociales [13], en la cual el foco ha estado en la estimación de los cambios globales del sistema modelado, teniendo en cuenta las interrelaciones que tiene dicho sistema con su medio ambiente. La técnica se considera en la actualidad promisoría dentro del denominado "economía compleja" [14], especialmente en lo relativo a los temas ambientales y de sostenibilidad [15]. Los modelos en dinámica de sistemas describen el fenómeno de interés usando un conjunto de ecuaciones diferenciales que agregan el comportamiento de los individuos o grupos de individuos y el ambiente que ellos habitan [16][17][11] y que, como consecuencia, reproducen el comportamiento no lineal de los sistemas modelados. De esta manera, los modelos en dinámica de sistema consideran los efectos de los retardos en las acciones emprendidas y la retroalimentación entre las variables [18] [19][20]. Las preguntas de investigación que se abordan con los modelos en DS están formuladas en términos de cuales condiciones

específicas afectarán la estabilidad del sistemas [21], además permite versatilidad, fortaleza y utilidad como herramienta para la evaluación de políticas y estrategias. Su potencial no radica en la capacidad predictiva, sino en la posibilidad de apoyar el diseño de políticas. Los resultados obtenidos son por tanto, trayectorias posibles, deducidas del examen de diversas políticas en la conducción de entidades [22] [20].

#### *Hipotesis Dinamica*

En la figura 1 se puede observar una hipótesis dinámica donde se evalúan las alternativas de transformación del mercado eléctrico colombiano, el cual está compuesto de varios ciclos de balanceo y refuerzo, el primer y segundo ciclo de realimentación explican las variables que definen el funcionamiento actual del sistema de electricidad, el tercer ciclo, explica cómo el uso de tecnologías renovables y el consumo de las mismas afecta la demanda de electricidad del sistema interconectado, de una manera negativa, el cuarto ciclo, explica cómo se presenta la adopción de tecnologías renovables en el país y qué variables influyen en la misma, es ahí donde se tiene en cuenta el precio de las tecnologías renovables de generación, las curvas de aprendizaje, la educación y capacitación frente a las mismas y las capacidades que debe desarrollar el país, para facilitar la inserción de estas nuevas tecnologías en el medio.

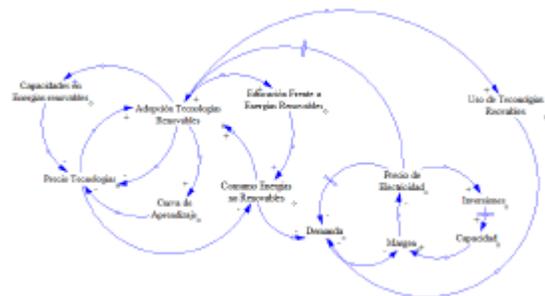


Figura 1. Hipotesis dinamica

Con base en la hipotesis dinamica antes planteada, con respecto al comportamiento de la inserción de tecnologías renovables para generación, y los recursos y capacidades a desarrollar, se construyó un modelo de simulación para analizar las variables que influyen en la adopción de energías renovables. El modelo de dinamica de sistemas se configuró con los datos del sector eléctrico colombiano, para realizar simulaciones durante el periodo comprendido entre 2015 y 2055

### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados preliminares, obtenidos bajo la utilización del modelo de simulación,

aquí se analizarán las capacidades que debe desarrollar el país, para la generación con fuentes renovables de energía, y algunos datos importantes de la generación con energía solar. Se presentan dos escenarios, el primero es un escenario optimista de alta tasa de adopción y el segundo es un escenario más negativo donde el índice de adopción es mucho más bajo. Escenario optimista, Alta tasa de adopción.

### Energía solar



Figura 2. Tasa de adopción Energía Solar

Para hallar la tasa de adopción se hizo la suposición, de que está, crecería el 50% de la diferencia entre el costo de la energía tradicional y el costo de la energía producida por paneles solares, como resultado se obtuvo, que cuando la energía tradicional tiene un costo más bajo que la energía producida por paneles solares, la tasa de adopción es cero, luego cuando los precios de la energía solar bajan, debido a mecanismos de apoyo del estado o por un alza en el precio de la electricidad, la tasa de adopción fluctúa a lo largo de los años encontrando su mayor valor de 0,5% alrededor del año 2040, luego vuelve a decaer bajo la suposición de que se ha presentado la mayor adopción posible, según el mercado colombiano.



Figura 3. Número de Usuarios que adoptan energía solar

Bajo la tasa de adopción hallada, el crecimiento de los usuarios que generan electricidad con tecnología solar, se evidencia de manera paulatina entre los años 2015 y

2040, cuando la tasa de adopción sube en el año 2040, el número de usuarios que adoptan energía solar crece rápidamente.

### Energía eólica

El análisis del crecimiento de la energía eólica, fluctúa de una manera diferente a la energía solar, puesto que la generación mediante los recursos eólicos, no está dada por los usuarios, sino por las políticas empresariales que busquen la expansión de su capacidad de generación en el mercado de energía eléctrica, mediante alternativas diferentes a las ya utilizadas, como son la energía hidráulica y la energía térmica.

Análisis de los recursos y capacidades a desarrollar.

La evaluación de las capacidades, se hizo mediante un índice entre 0 y 1, para indicar el impacto de las variables en cada una de las tecnologías evaluadas. Cuando el índice es cero, o tiende a cero, las capacidades son bajas, cuando el índice es uno o tiende a uno se poseen recursos y capacidades bajo la tecnología evaluada y las variables que la afectan.



Figura 4. Capacidades en energía solar

Para evaluar las capacidades que requería el país frente a la energía solar, se evaluó los recursos que se poseían frente a la generación solar y los que se requería, bajo la adopción que se presenta en el mercado. Frente a los recursos que se poseían se evaluó, el número de personas capacitadas, el número de personas a capacitar, la inversión en infraestructura.

Los resultados obtenidos, arrojaron que inicialmente en el año 2015, no se poseen capacidades frente a la tecnología solar, para generación de energía, debido a la falta de personal capacitado, a la falta de infraestructura y también a la baja adopción de dichas tecnologías. A medida que aumenta la adopción de tecnologías solares, bajo el requerimiento del mercado aumentan las capacidades del país, por ende aumenta

la infraestructura y las personas capacitadas en el tema entre otros.

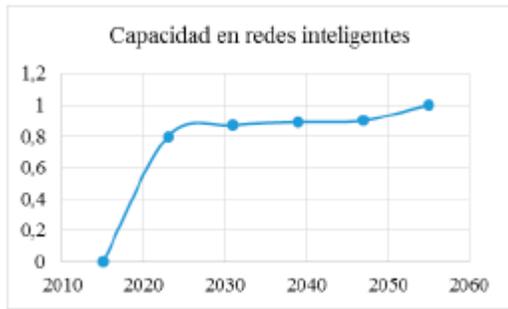


Figura 5. Capacidades en redes inteligentes

Para evaluar las capacidades en redes inteligentes se evaluaron los recursos que se poseen en redes inteligentes y los recursos que se necesitan, bajo el número de usuarios que adoptan tecnología solar, debido a que la adopción de tecnologías solares genera la necesidad de medidores bidireccionales y redes inteligentes.

Los resultados obtenidos, se comportan de manera similar a las capacidades en energía solar, debido a que las tecnologías son complementarias y necesarias entre sí.

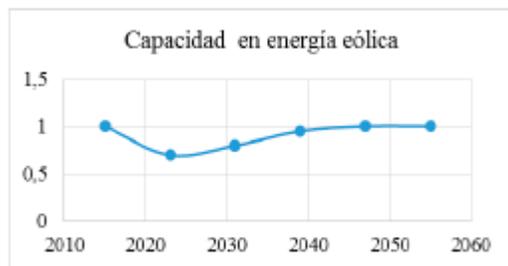


Figura 6. Capacidades en energía eólica

Las capacidades del país, frente a la energía eólica, al igual que las demás tecnologías, se evaluaron bajos los recursos que se tenían y los que se necesitan para el desarrollo del país.

Los resultados obtenidos, arrojaron que inicialmente en el año 2015, la capacidad en energía eólica es uno, debido a que el país posee recursos eólicos, aunque no sean de gran envergadura, y se tienen los recursos para la cantidad de energía eólica que se poseen. A partir del 2018 las capacidades disminuyen bajo la premisa de la inversión en energía eólica por parte de las grandes empresas y la falta de recursos técnicos capacitado, que atiendan las necesidades del mercado, pero igual que se generan las necesidades, el mercado va sufriendo

las necesidades de recursos y se genera mayor capacitación y conocimiento de las tecnologías en el país.

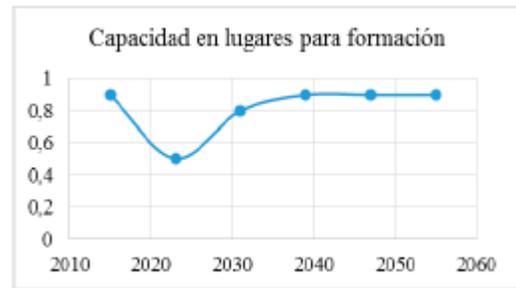


Figura 7. Capacidades en lugares para formación

Frente a las capacidades para los lugares para formación en tecnologías renovables de generación de electricidad, al igual que las demás capacidades, el índice, se midió bajo los recursos que poseen, y los recursos que se requieren debido a la demanda del mercado.

Inicialmente el índice tiende a uno, debido a que el país actualmente cuenta con recursos técnicos capacitados, pero la demanda en tecnologías renovables aun no es muy alta por las condiciones del mercado. A medida que aumenta la adopción la cantidad del recurso capacitado disminuye según las necesidades y los lugares de capacitación se vuelven pocos, frente a los recursos requeridos. Al igual que las demás tecnologías a medida que aumenta la demanda, aumenta el mercado y el índice en lugares para formación tiene a uno, en algunos momentos incluso la cantidad de recursos técnico tiende a ser mayor, debido a la popularidad frente a los recursos renovables para generación de energía eléctrica

Escenario Negativo. Baja tasa de adopción

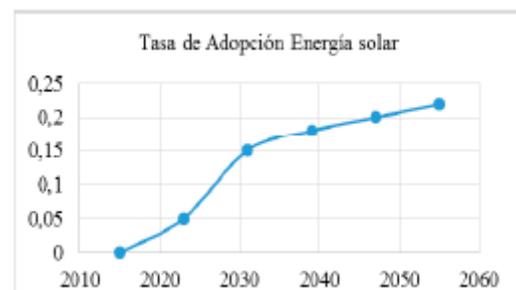


Figura 8. Tasa de Adopción de Energía Solar, escenario bajo

Como se observa en la figura, en un escenario más negativo frente a la adopción de energías renovables, la

tasa de adopción bajo considerablemente, siendo su máximo valor el 0,2% de tasa de adopción.



Figura 9. Número de usuarios que adoptan energía solar, escenario bajo

Al igual que baja la tasa de adopción el número de usuarios que adoptan energía solar, en un escenario más negativo también disminuye considerablemente alcanza un valor máximo de 8000 usuarios que adoptan energía solar.

Las capacidades en energía solar, en redes inteligentes, en energía eólica y en lugares para formación se comportan de manera similar, puesto que las capacidades se miden como índice, entre los recursos que se tienen y los que se requieren, no obstante al disminuir la tasa de adopción y el número de usuarios, disminuye también las necesidades de personas capacitadas de redes inteligentes y de lugares de formación, por lo tanto el país debe hacer menos inversión en recursos para el desarrollo de tecnologías de generación de energía eléctrica renovable.

## V. CONCLUSIONES

Las políticas públicas juegan un crucial papel para impulsar la adopción de energía solar por parte de los consumidores, los subsidios a la adopción, la disminución de aranceles, los créditos o formas de pago a largo plazo impulsarían benéficamente la adopción de tecnología solar para generación de energía eléctrica.

La adopción de energía eólica, en el país, depende de las políticas públicas del gobierno frente a los recursos de generación de electricidad, o de los intereses de las empresas privadas, en la inversión de dichas tecnologías, para expandir sus capacidades de generación de electricidad.

La educación en tecnologías renovables, es un recurso fundamental, en la necesidad del país, de desarrollar capacidades, según las demandas del mercado, para

dar un impulso a la diversificación de la matriz eléctrica, mediante la adopción de nuevas tecnologías de generación.

El desarrollo de recursos y capacidades, se fundamentan bajo las necesidades que se presentan en el mercado, a medida que aumenta la demanda, la oferta va creciendo paulatinamente hasta llegar a un punto de equilibrio.

En un escenario de baja adopción de renovables, los recursos a desarrollar en personal capacitado, redes inteligentes y lugares para formación son mucho más bajos que en un escenario positivo, sin embargo las capacidades en energía eólica, energía solar y redes inteligentes se comportan de manera similar, ya que este es un índice que relaciona los recursos que se poseen y los que se requieren.

## REFERENCIAS

- [1] Gallagher, K. S., Holdren, J. P., & Sagar, A. D. (2006). Energy-Technology Innovation. *Annual Review of Environment and Resources*, 31, 193-237.
- [2] Sung, B., & Song, W.-Y. (2013). Causality between public policies and exports of renewable energy technologies. *Energy Policy*, 55, 95-104.
- [3] REN21. (2014). *Renewables 2014 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.
- [4] European Commission. (2014). *EU Energy, transport and GHG emissions trends to 2050. Reference scenario 2013*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- [5] P. Huerta Riveros, J. E. Navas López y P. Almodóvar Martínez, «La diversificación desde la teoría de recursos y capacidades,» Cuadernos de Estudios empresariales, Vols. %1 de %2ISSN:1131-6985, n° 14, pp. 87-104, 2014.
- [6] Z. Fernández Rodríguez y I. Suárez González, «La estrategia de la empresa desde una perspectiva basada en los recursos,» *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, vol. 5, n° 3, pp. 73-92, 1996.
- [7] J. Navas López y L. Guerras Martín, «La dirección estratégica de la empresa. Teoría y aplicaciones,» *Civitas*, vol. 3, 2002.
- [8] R. M. Grant, «Dirección estratégica. Conceptos, técnicas y aplicaciones,» *Civitas*, p. 155, 1996.
- [9] L. Cadavid, *Aproximación metodológica al análisis de la difusión de innovaciones en productos que utilizan tecnologías limpias considerando elecciones individuales de adopción*, Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, 2015.

- [10] O. Balci, «A methodology for certification of modeling and simulation applications.,» *ACM Transactions on modeling and Computer simulation*, vol. 11, n° 4, pp. 352-377, 2001.
- [11] N. Gilbert y K. Troitzsch, «Simulation for the social Scientists,» McGraw-Hill Education, vol. Second Edition, p. 295, 2005.
- [12] S. Hoffman, «Simulation as a Social Process in Organizations.,» *Sociology compass*, vol. 1, n° 2, pp. 613-636, 2007.
- [13] N. Gilbert, «A simulation of the structure of academic science.,» *Sociological Research Online*, vol. 2, n° 2, pp. 1-17, 1997.
- [14] W. Arthur, «Complexity and the Economy,» *Science*, vol. 284, n° 5411, pp. 107-109, 1999.
- [15] T. Foxon, J. Kholer, J. Michie y C. Oughton, «Towards a new complexity economics for sustainability.,» *Cambridge Journal of Economics*, vol. 37, n° 1, pp. 187-208, 2013.
- [16] M. Macy y R. Willer, «From Factors to actors,» *Computational sociology and Agent-Based Modeling. Annual Review of sociology*, vol. 28, n° 1, pp. 143-166, 2002.
- [17] H. Rahmandad y J. Sterman, «Heterogeneity and network structure in the dynamics of diffusion: Comparing agent-based and differential equation models,» *Management Science*, vol. 54, n° 5, pp. 998-1014, 2008.
- [18] P. Cooley y E. Solano, «Agent-Based Model (ABM) Validation Considerations.,» En *SIMUL 2001, The third International Conference on Advances in System Simulation*, pp. 134-139, 2011.
- [19] J. Forrester, «Lessons from system dynamics modeling.,» Presentando en *International Conference of the system Dynamics Society*, Sevilla, 1986.
- [20] J. Sterman, *Business Dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world*, Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- [21] J. Davis, K. Eisenhardt y C. Bingham, «Developing theory through simulation methods.,» *Academy of management review*, vol. 32, n° 2, p. 480, 2007.
- [22] I. Dyner, *Dinámica de sistemas y simulación continua en el proceso de planificación*, Colciencias. ISBN: 9789589037249, 1993.



## 90. SYSTEMS DYNAMICS SIMULATION FOR INOTROPIC SUBSTANCES

**YOLANDA PLAZAS MOSQUERA, LEONARDO GONZÁLEZ MSC.**

Facultad de Ingeniería - Universidad de La Sabana. Chía, Colombia  
yplazas@yahoo.com, Leonardo.gonzalez@unisabana.edu.co

**GONZALO STERLING LONDOÑO**

Facultad de Salud. Universidad del Valle. Cali, Colombia  
gonzalo.sterling@correounivalle.edu.co

### ABSTRACT

The present project apply the systems dynamics theory to simulate possible biological relationships between the action of inotropic compounds, like digoxin, in myocardial contractility. Inotropic compounds are generally being used to treat cardiac affections like heart failure but can also generate a certain levels of toxicity that could end in health complications and possible death. Cause and effects dynamic variables were defined showing its interactions between digoxin and the heart cells.

The connections were graphed using causal maps with the software VENSIM PLE. With this information, the variables were characterized into levels, rates and/or auxiliaries to find out the feedback relationships through a flow and level map made by the same software. It was found that the level of contractility in the heart has a relationship with the inotropic concentration used and that it is important to add two more variables to control the level of concentration of inotropic in the heart. Testing inotropic molecules in a system dynamic model has an incredible bioethical and research value improving the way of how living resources are being used. This type of research could help to understand pharmacokinetics of active compounds, quantifying possible concentrations. Simulations like this can help to understand other promissory substances as an alternative of heart failure treatments, since there is a need to control one of the top causes of death in the world.

**KEYWORDS:** Biological Systems Dynamics, cardiac glycoside, digoxin, inotropic, modeling, myocardial contractility and simulation.

### I. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte no violenta en el mundo [1] en Colombia algunas patologías como enfermedades isquémicas cardiacas supera las muertes violentas, ubicándose como la principal causa de muerte. Otras enfermedades del sistema cardiovascular también figuran dentro de las 10 principales causas de muerte [2] [3] [4].

Debido a la importancia que tienen las enfermedades cardiovasculares hacen de esta área de la salud un sector activo en investigación e innovación con el fin de disminuir la incidencia de estas patologías [3]. Desde salud pública se han buscado diferentes estrategias para la prevención [5] [6]; sin embargo, mientras se

logran más avances en prevención, también se hace necesario el mejoramiento de los diferentes tratamientos. Por esto, puede verse que una sustancia como Digoxina que lleva más de 200 años usándose para el manejo de algunos pacientes, aún se sigue estudiando, para conocer si puede tener nuevas indicaciones terapéuticas, disminuir los efectos adversos o ser reemplazada por otras sustancias que sean más efectivas y seguras [7].

La digoxina hace parte de un grupo de sustancias llamadas glicósidos cardíacos (GC), debido a que en su estructura química tiene azúcares. Este grupo de sustancias actúan bloqueando la bomba Sodio Potasio ATPasa (Na<sup>+</sup>P<sup>+</sup>-ATPasa) de la membrana celular, generando un cambio en el balance de iones en su interior, en el cual habrá aumento de la concentración

de calcio, que se unirá a proteínas contráctiles del miocardiocito, generando un acortamiento de la sarcómera, y de esta forma se producirá un aumento de la contractilidad, es decir efecto inotrópico positivo. [8] [7].

En los últimos años, debido a todos los avances tecnológicos, han cambiado muchos conceptos y estrategias para investigar en diversos campos. Así como, en determinado momento diferentes inventos permitieron superar las limitaciones de los sentidos, como por ejemplo, el telescopio o microscopio que permiten ver lo que el ojo no puede, otro gran avance ha sido el uso de la computación para múltiples fines y se han creado campos como la bioinformática. Una de las aplicaciones de estas herramientas informáticas en la investigación es el modelamiento y simulación, actualmente existen bancos de datos para hacer ingeniería de proteínas y secuencias genéticas con los cuales se podrían simular cambios en una secuencia de DNA codificante.

Jay Forrester a partir de los años 50 fue creando lo que se conoce actualmente como sistemas dinámicos, que ha permitido hacer modelos de simulaciones para una determinada situación en la que intervienen múltiples variables [9]. Esto se ha utilizado principalmente para relaciones económicas, empresariales y en general de ingeniería. Aunque hay intentos de aplicar este tipo de modelado a ciencias biológicas como neurociencias o virología e inmunología, poco se ha visto que se aplique en fisiología y farmacología [10]. Por esto, se hace interesante aplicar estas teorías para mejorar el entendimiento y comprensión de estas ciencias, y de esta forma brindar nuevas opciones para su estudio, permitiendo tener modelos de simulación, en especial en temas como sustancias que producen inotropismo positivo, que son de gran interés para problemas de salud tan importantes como la falla cardíaca.

## II. OBJETIVO

Construir un modelo de dinámica de sistemas para simular la contractilidad miocárdica ante estímulos de un inotrópico como la Digoxina.

## III. METODOLOGÍA

Se desarrolló un diagrama causal compuesto por dos bucles, uno fisiológico y otro farmacológico. El bucle fisiológico muestra una secuencia de eventos principales que ocurren en un ciclo cardíaco normal. A

este, se conectaron diferentes variables que componen el Bucle Farmacológico, como la dosis de la sustancia que va a producir un estímulo inotrópico positivo, el peso del sujeto experimental y la respuesta contráctil. El mapa causal representa pasos de la contractilidad cardíaca y expone cómo ésta es controlada fisiológicamente por el sistema nervioso simpático a través de las concentraciones de noradrenalina al estimular el músculo cardíaco por medio de receptores en las células miocárdicas [11]. Estas retroalimentaciones son muy importantes si se quieren probar sustancias que aumentan la contractilidad en el caso de algunas enfermedades teniendo en cuenta la dosificación.

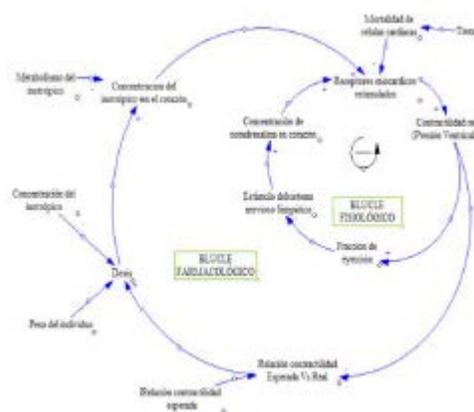


Figura 1. Mapa causal de la contractilidad cardíaca.

A partir del mapa causal se realizó un modelo de simulación de sustancias inotrópicas en sistemas dinámicos, donde la variable de salida "registro de cambio de la presión ventricular", dependió de la variable "Amplitud/contractilidad", definida en unidades de presión (mmHg) y de la variable "frecuencia ventricular" definida en unidades de tiempo (s).

El objetivo de la simulación es la de predecir los cambios en la fuerza de contracción del corazón cuando se expone a sustancias inotrópicas, como por ejemplo la Digoxina, un medicamento utilizado para el tratamiento de la falla cardíaca. El diseño se realizó mediante el software Vensim PLE para relacionar variables como por ejemplo:

Presión ventricular  
 $\text{mmHg} + \text{Amplitud/contractilidad} \cdot \text{SIN}(\text{Frecuencia ventricular} \cdot \text{Time})$

El diagrama de niveles y flujos se retroalimenta de todas las variables que componen el sistema como son: Tasa de dosificación (concentración del inotrópico, peso del individuo), nivel de concentración de la sustancia



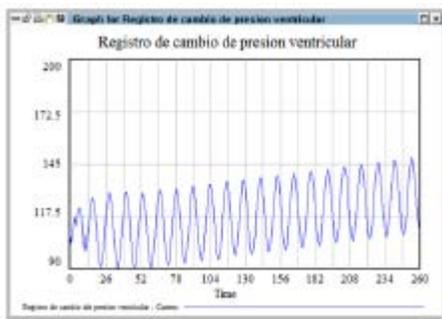


Figura 6. Registro de presión a 0.5  $\mu\text{mol}$

Para la concentración de 0.6  $\mu\text{mol}$  se mostró un aumento de la presión hasta llegar a 150 mmHg con una bajada después de los 250 minutos lo cual indicaría que las células estarían saturadas y extenuadas donde el corazón llegaría a la muerte. Como lo muestra la Figura 7. Registro de presión a 0.6  $\mu\text{mol}$



Figura 7. Registro de presión a 0.6  $\mu\text{mol}$

Como se puede ver en las gráficas, el modelo de simulación ha mostrado un aumento en presión ventricular a medida que aumenta la dosis de GC, lo que indica que hay una relación dosis-efecto, siendo el efecto observado incremento en inotropismo.

Aunque no es posible en este momento, afirmar que esta simulación refleja con total exactitud los efectos reales. En parte debido a la variabilidad entre los mismos sujetos o biomodelos en los que se administre, a causa de interacciones con los receptores y que hace falta aumentar la cantidad de datos para tener una validación de todo el sistema. Si es un primer acercamiento en la construcción de sistemas que den respuestas y aplicación de teorías de sistemas complejos, como la de sistemas dinámicos a problemas importantes diferentes a los que tradicionalmente se han usado.

## VII. CONCLUSIONES

Simular procesos biológicos en los estudios de farmacocinética de sustancias inotrópicas, tiene un gran valor ético e investigativo, puesto que permite predecir el comportamiento tanto de moléculas conocidas como promisorias en cuanto a su eficacia y seguridad. El uso de modelos de sistemas dinámicos ayuda a disminuir la experimentación en animales al poder simular un gran número de situaciones sin necesidad de reproducirlas todas en el laboratorio. Este modelo simuló adecuadamente la dinámica esperada para la digoxina y su acción en la contractilidad cardiaca, mostrando que hay una relación entre la concentración y la presión ventricular.

También se evidenció la necesidad de adicionar variables de número de receptores en las células cardiacas y de posible tolerancia al inotrópico. Se espera poder desarrollar este modelo para contrastar y evaluar el comportamiento de sustancias desconocidas con posible actividad biológica en el área de bioprospección.

## VIII. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Doctor en Ciencias Biomédicas Santiago Castaño Valencia de la Universidad del Valle, Facultad de Salud, Escuela de Ciencias Básicas, Departamento de Ciencias Fisiológicas, como también al médico e ingeniero biomédico Jorge Farbiarz por la asesoría durante este trabajo.

## IX. REFERENCIAS

- [1] "OMS Centro de prensa: Enfermedades no transmisibles," 2015. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs355/es/>.
- [2] Asivamosensalud.org, "Primeras causas de mortalidad en Colombia," 2012. [Online]. Available: <http://www.asivamosensalud.org/indicadores/estado-de-salud/grafica.ver/68>. [Accessed: 17-Aug-2015].
- [3] "Colombia enfrenta epidemia de enfermedades cardiovasculares y diabetes," Boletín de Prensa No 077 de 2014, 2014. [Online]. Available: <http://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-enfrenta-epidemia-de-enfermedades-cardiovasculares-y-diabetes.aspx>. [Accessed: 17-Aug-2015].
- [4] Observatorio nacional de salud, "Enfermedad cardiovascular: principal causa de muerte en Colombia," Instituto nacional de salud, 2013. [Online]. Available: <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/ons/boletin>

- 1/boletin\_web\_ONS/boletin1.html. [Accessed: 17-Aug-2015].
- [5] C. Colaborador, "Centro para el Desarrollo y Evaluación de Políticas y Tecnología en Salud Pública, CEDETES Facultad de Salud, Universidad del Valle Con el apoyo de los Centros para la Prevención y Control de Enfermedades, CDC de Atlanta (USA)," *Control*, pp. 1–5, 2007.
- [6] Organización Panamericana de la salud, "Informe sobre la salud en el mundo 2002: Reducir los riesgos y promover una vida sana.," 2002. [Online]. Available: <http://www.who.int/whr/2002/es/>.
- [7] M. a Stucky and Z. D. Goldberger, "Digoxin: its role in contemporary medicine," *Postgrad. Med. J.*, pp. postgradmedj–2014–132937, 2015.
- [8] L. L. Brunton, Goodman & Gilman's the pharmacological basis of therapeutics, vol. 12. McGraw-Hill Medical New York, 2011.
- [9] J. W. Forrester, "The beginning of system dynamics," *McKinsey Q.*, pp. 4–16, 1995.
- [10] B. Hannon and M. Ruth, *Modeling dynamic biological systems*. Springer, 2014.
- [11] W. F. Boron and E. L. Boulpaep, *Medical Physiology*, 2e Updated Edition: with STUDENT CONSULT Online Access. Elsevier Health Sciences, 2012.
- [12] G. Isberg, "Cardiac Glycoside Receptors and Positive Inotropy," *Steinkopf, Darmstadt, Ger.*, pp. 56–71, 1984.



## 91. CONCEPCIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA EN SALUD PÚBLICA, UNA MIRADA DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS<sup>1</sup>

**LUIS EDUARDO GUERRA GONZÁLEZ**

Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática,  
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia  
eduardog@simon.uis.edu.co

**HUGO HERNANDO ANDRADE SOSA, M.SC**

Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática,  
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia  
handrade@uis.edu.co

**GERARDO MUÑOZ MANTILLA, PH.D**

Escuela de Medicina,  
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia  
germun@uis.edu.co

### RESUMEN

En la ciudad de Bucaramanga, Colombia, las micro-epidemias de Chagas constituyen una problemática de salud pública en la cual la Universidad Industrial de Santander participa en una investigación cuyo objetivo es promover un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para Chagas agudo. Las entidades del sector salud y ambiente de la ciudad y la comunidad en riesgo participan en el SAT a través de una organización social cuyos objetivos son la prevención, control y alerta temprana de la enfermedad. Mientras continúe la existencia de riesgo de transmisión de la enfermedad de Chagas, el SAT puede ser una medida para afrontar este problema. Este artículo presenta los elementos que comprenden el SAT y luego, mediante un análisis con Dinámica de Sistemas, muestra como en la medida que subsistan las relaciones entre estos, se puede mantener la operación y la sostenibilidad del SAT.

**PALABRAS CLAVE:** Dinámica de Sistemas, Sistema de Alerta Temprana, Salud Pública

### 1. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Bucaramanga, Colombia la aparición de micro epidemias de la enfermedad de Chagas de transmisión vía oral, constituye una problemática de salud pública con alta morbilidad y alta mortalidad. La enfermedad de Chagas es una afección causada por el parásito *Trypanosoma Cruzi* el cual es transmitido por insectos vector denominados Triatominos [1]. La forma de transmisión, de mayor ocurrencia y preocupación en la ciudad, es la transmisión vía oral; ocurre cuando el

insecto cae en alimentos expuestos, y a través de sus heces contamina los alimentos con el parásito.

La Escuela de Medicina y el grupo SIMON de Investigación adscritos a la Universidad Industrial de Santander desarrollaron labores en un proyecto de investigación que trabaja en la atención de esta problemática de salud pública, el objetivo principal del proyecto de investigación es la implementación en Bucaramanga de un Sistema de Alerta Temprana (SAT)

<sup>1</sup> Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigaciones en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia; en el marco del XIII Congreso Latinoamericano y Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2015, Cartagena, Colombia. Mayor información sobre este trabajo y demás labores del grupo SIMON: <http://simon.uis.edu.co/>

para Chagas agudo basado en la participación de la comunidad y la acción del sector salud/ambiente [2].

Puesto que el objetivo de la investigación es establecer un SAT basado en la participación de la comunidad, el SAT propuesto es del tipo "centrado en la población"; en general un SAT de este tipo tiene como objetivo "facultar a las personas y comunidades que enfrentan una amenaza, para que actúen con suficiente tiempo y de manera adecuada para reducir la posibilidad de que se produzcan lesiones personales, pérdida de vidas y daños a los bienes y al medio ambiente" [3].

Un sistema de alerta temprana "centrado en la población" efectivo y completo comprende cuatro elementos relacionados entre sí: conocimiento de riesgos, servicio de seguimiento y alerta, difusión y comunicación y capacidad de respuesta. La falla de alguno de los elementos implica la falla del sistema completo [4]. Estos elementos están relacionados entre sí y se puede decir que conforman un ciclo operacional que permite el funcionamiento de un sistema de alerta temprana (Figura 1).

1. **Conocimiento de los riesgos:** La valoración del riesgo provee de información esencial para establecer prioridades para la mitigación y estrategias de prevención y el diseño de sistemas de alerta temprana.
2. **Servicio de seguimiento y alerta:** Sistemas con capacidades de monitoreo y predicción proveen estimaciones a tiempo del potencial riesgo encarado por las comunidades, economías y el ambiente.
3. **Difusión y comunicación:** Se necesita de sistemas de comunicación para entregar mensajes de alerta a los lugares potencialmente afectados, alertar a las agencias locales y gubernamentales. Los mensajes deben ser seguros, concretos y simples para ser entendidos por las autoridades y el público.
4. **Capacidad de respuesta:** Coordinación, buen gobierno y planes de acción apropiados son el punto clave en la alerta temprana efectiva. Igualmente, la toma de conciencia del público y la educación son aspectos críticos de la mitigación de desastres

Los elementos presentados, que son producto del estudio de muchos sistemas de alerta temprana<sup>1</sup>, son la base para la concepción de un sistema de alerta

temprana en salud basado en la participación de la comunidad y la acción del sector salud y medio ambiente.



Figura 1: Elementos de un Sistema de alerta temprana basado en la comunidad

Para que el SAT para Chagas agudo en Bucaramanga sea basado en la participación de la comunidad es necesario establecer relaciones al menos entre la comunidad y las entidades de salud y ambiente para realizar las acciones necesarias para lograr el objetivo del mismo, esto se puede lograr mediante la conformación de una organización social (Organización del SAT), mediante la cual se pueda facultar a la comunidad y a las entidades y permita que se realicen las acciones de prevención, control y alerta temprana en la comunidad.

La organización social del SAT se conceptualiza mediante la identificación de elementos de la problemática y el uso de una teoría organizacional formal. La concepción se aborda desde el enfoque del pensamiento sistémico, en particular, la Sistemología Interpretativa y la Metodología de Sistemas Blandos.

En tanto que exista la problemática de salud pública causada por la enfermedad de Chagas, así como otras problemáticas, como el Dengue o Chikungunya, que se pueden abordar con el mismo sistema, el SAT debe coexistir en el tiempo como una estrategia para atender estos problemas; esto es un SAT sostenible. El SAT, debido a sus diversos elementos cambiantes, tiene una dinámica que podemos explorar a través de la Dinámica de Sistemas, la cual permite expresar la estructura del mismo en términos de diagramas de influencias y explorar las relaciones entre múltiples elementos,

<sup>1</sup> Global Survey on Early Warning System (UN)

también en diagramas de flujo nivel que permitan examinar diferentes comportamientos bajo diferentes escenarios, buscando los más apropiados para que el SAT mantenga su operación de manera sostenible.

## 2. ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA

Los elementos de la conceptualización del SAT surgieron a partir de la investigación y el uso de fundamentos conceptuales tomados de la literatura sobre Sistemas de alerta temprana así como el enfoque sistémico aportado por la Sistemología Interpretativa y la Metodología de Sistemas Blandos, estos elementos son:

- **OBJETIVOS:**

El SAT tiene como objetivos principales la prevención de la ocurrencia de casos de la enfermedad, el control en caso de la presencia de casos y la alerta temprana que permita tomar acciones que minimicen la transmisión de la enfermedad. El enfoque del SAT resalta la importancia de la prevención que busca evitar la presencia de casos de enfermedades.

- **EDUCACIÓN Y CONOCIMIENTO:**

Estrategias de información, comunicación y principalmente educación, como aquellas que se puedan llevar desde la escuela, permiten generar en los actores de la problemática el conocimiento necesario para actuar adecuadamente frente al riesgo y la ocurrencia de casos de transmisión de enfermedades en la comunidad.

El conocimiento sobre los diferentes aspectos relacionados con la problemática de Salud Pública por parte de la comunidad y las entidades participantes en el SAT es el factor fundamental para lograr los objetivos del mismo.

Así mismo, la investigación formal, permite la identificación de características locales de las enfermedades que ayuden a combatirlos, así como elementos para proponer y mejorar estrategias que ayuden a la comunidad y las entidades mejorar la operación del SAT. Esto hace que la participación de científicos y académicos sea un factor importante para conocer mejor los fenómenos relacionados con las enfermedades presentes en las comunidades y preparar el SAT mejor para responder a los mismos.

- **ORGANIZACIÓN SOCIAL:**

La Organización social se propone a través de un modelo formal básico, elaborado a partir de la teoría sistémico-interpretativa de las organizaciones [5] y la exploración de elementos locales y características de los actores a través del uso de la Metodología de Sistemas Blandos [6] y que agrupa principalmente los siguientes elementos:

**Objetivo:** La prevención, control y alerta temprana de la enfermedad de Chagas en las comunidades en riesgo de la ciudad de Bucaramanga. Objetivo formal que se extiende a otras problemáticas similares.

**Actores:** Líderes voluntarios de la comunidad (Trabajadores Comunitarios en Salud), la comunidad en general, funcionarios de entidades del sector salud y sector ambiente, universidad, entre otros.

**Actividades:** Actividades que permitan que la comunidad y las entidades conozcan las problemáticas, actuar adecuadamente ante signos de presencia de las enfermedades, comunicar alertas tempranas, así como veeduría ciudadana sobre las entidades.

**Recursos:** Los recursos necesarios para realizar las actividades del sistema y que pueden ser del tipo *comunicación, prevención y atención.*

Esta organización es el centro del SAT ya que permite el funcionamiento del mismo a través de las acciones que realizan sus actores. Esta organización se puede someter constante a un proceso de mejora como el que se puede lograr con la MSB, usada para su exploración (Figura 2).

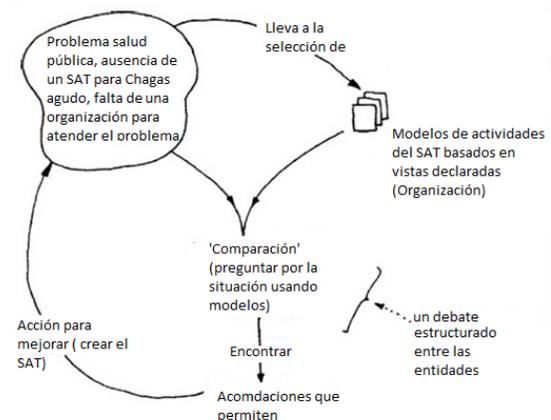


Figura 2: Representación del proceso de la MSB en la problemática de salud pública

## • SISTEMA DE INFORMACIÓN

Se puede pensar un sistema de información como dos sistemas relacionados; un sistema servido soportado por un sistema que sirve [7], siendo el sistema servido un sistema social con alguna actividad con propósito como es el caso de la organización social del SAT y el sistema que sirve conformado por el sistema computacional de manipulación de datos y las personas que lo mantienen, lo operan y lo modifican, lo que es comúnmente conceptualizado por otros como el sistema de información.

Un sistema de información como soporte de la organización permite apoyar las labores de educación, obtener la información desde la comunidad hacia la comunidad y las instituciones y viceversa, información que incluye casos de la enfermedad, alertas tempranas por medio del reporte de indicios de las enfermedades como fiebres sospechosas, presencia de los vectores que transmiten las enfermedades, información para la realización de acciones tempranas, entre otras.



Figura 3: Sistema de Información: Sistema que sirve y Sistema servido. El sistema que sirve se adapta y mejora si el sistema servido también mejora

El sistema de información debe ser adaptable y mejorable de acuerdo a la mejora del sistema que sirve, es decir la organización del SAT, para esto, su diseño debe contemplar esta característica.

## • GOBIERNO:

El gobierno debe facultar a sus autoridades locales y nacionales, las cuales deben tener alto grado de conocimiento sobre la problemática y participar activamente en las actividades del SAT [8].

## • SOSTENIBILIDAD

La sostenibilidad está ligada a la participación de gobiernos locales y nacionales; por lo general, las instituciones gubernamentales locales no participan en el diseño, instalación, operación y mantenimiento, lo cual tiene un impacto negativo en la funcionalidad y

sostenibilidad de los SAT [9]. Una gobernabilidad adecuada y arreglos institucionales, la participación de las comunidades locales y la consideración de la perspectiva de género y de la diversidad cultural son temas importantes para la sostenibilidad de sistemas de alerta temprana [8].

Mantener la operación y sostenibilidad del SAT depende de la perduración de al menos los siguientes elementos:

- ✓ Conocimiento continuo de la población acerca de la problemática.
- ✓ Estrategias constantes de Información, Educación y Comunicación
- ✓ Establecer y mantener relaciones sostenibles entre la comunidad y las entidades pertinentes
- ✓ Asegurar los recursos necesarios para la realización de las acciones que mantienen operando el SAT
- ✓ Establecer una veeduría ciudadana para velar por la realización de acciones de tanto la comunidad como las entidades involucradas

La operación del SAT y la operación continua, que podemos decir es la sostenibilidad del sistema es objeto de una mirada con dinámica de sistemas.

## 3. MIRANDO EL SAT USANDO LA DINÁMICA DE SISTEMAS, DINÁMICA DE SUS ELEMENTOS

El Sistema de alerta temprana consta de varios elementos relacionados, que lo articulan y permiten su funcionamiento. La falla de uno de estos elementos puede llevar a que el sistema de alerta temprana no cumpla su objetivo.

A través de la dinámica de sistemas es posible ilustrar las relaciones entre los elementos y como pueden afectar la operación del mismo. En un sistema de este tipo no solo se busca que su operación se lleve a cabo de la mejor forma posible, es deseable que el sistema sea sostenible como una medida para atender la problemática de salud que representa una enfermedad como la enfermedad de Chagas o el Dengue entre otras.

Para el análisis dinámico se toma como base el aspecto operacional de un Sistema de Alerta Temprana, el cual, en general, presenta un ciclo que relaciona el monitoreo y reporte de información, la comunicación de información como alertas y la respuesta a la información (Figura 4). Cuando el monitoreo y reporte de información se asocia con sistemas de comunicación y planes de respuestas, se pueden considerar sistemas de alerta temprana [10].

La información y las alertas deben llegar a través de un medio de comunicación efectivo a las demás personas de la comunidad y a las entidades que pueden realizar acciones para prevenir posibles casos de las enfermedades así como atender la alerta temprana y reducir el riesgo de transmisión. Los planes de respuesta que tenga la comunidad y las entidades participantes son tan importantes como el reporte y la comunicación de la información, si cualquiera de estos aspectos falla, el sistema fallará.

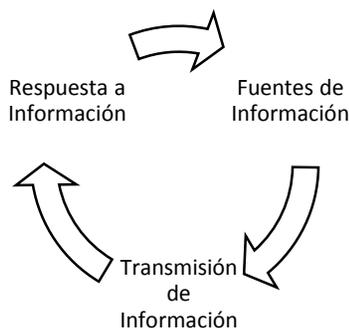


Figura 4: Aspectos operacionales del SAT, basado en aspectos presentados para un sistema de alerta temprana en general [8] El sistema de alerta temprana comienza su operación desde la comunidad, que como miembros de la organización social, realizan acciones basadas en un **conocimiento** que debe ser adquirido y constantemente recordado y renovado. Estas acciones son de varios tipos para fomentar la prevención de la presencia de riesgos de las enfermedades en la comunidad, de control en caso de la aparición de casos y de alerta temprana como medida para informar la presencia de enfermedades a otros miembros de la comunidad y las entidades participantes para que puedan realizar sus propias acciones.

A través de la conformación de la organización social, los miembros de dicha organización son la fuente de la información que fluye a través del sistema de información que soporta a la organización. Esta información permitirá a los miembros de la comunidad y

a las entidades de salud y ambiente realizar las acciones necesarias para cumplir con el objetivo del SAT.

Basados en la operación del SAT como se describe, mediante una serie de aproximaciones a las relaciones de los elementos mediante diagramas de influencia se realiza una mirada de carácter dinámico sistémico de la operación y sostenibilidad del SAT.

### 3.1. UNA MIRADA A LAS INFLUENCIAS DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL SAT

Echamos una mirada al primer aspecto en la operación del SAT, la fuente principal de información del mismo, la comunidad que afronta las problemáticas. Es indispensable que la comunidad posea el conocimiento necesario para brindar la información que permita al sistema funcionar. En enfermedades como el dengue, se observa una falta de conocimiento sobre la problemática; En la comunidad las enfermedades generalmente no son conocidas o son confundidas unas con otras. Algunas enfermedades no siempre son correctamente diagnosticadas e incluso el personal de salud no tiene claras las características de las mismas. Este conocimiento incluye aspectos de la enfermedad, así como la existencia del SAT.

Generar el conocimiento en los actores involucrados en la problemática requiere de la realización de estrategias de información, educación y comunicación sobre las enfermedades y sus características y sobre el SAT y su operación. Estas estrategias incluyen labores en la escuela, la formación de líderes comunitarios a través estrategias como diplomados y otras actividades formativas en la comunidad y en funcionarios de las entidades que actúan en la problemática. El conocimiento, la educación que permita generar y el establecimiento de una organización social permitirá a los actores relacionados realizar actividades, que permitan cumplir el objetivo del SAT y reducir el riesgo de presencia de enfermedades en la comunidad.

Esto se puede ilustrar mediante el diagrama de influencias de la Figura 5 donde el ciclo inicia en las labores de *Educación*, que permiten generar *Conocimiento* tanto en la comunidad como en los funcionarios de las entidades involucradas, esto permite la realización de *Actividades* que permitan cumplir con los objetivos de prevención, control y alerta temprana. Estas actividades, bien realizadas tendrán el efecto de reducir el riesgo de propagación de enfermedades en las comunidades.



Figura 5: Primera aproximación de un diagrama de influencias de la operación del SAT

El diagrama de influencias de la figura muestra el proceso del SAT como un ciclo de realimentación negativa que sugiere que el proceso del SAT puede no mantener su operación de forma continuada (sostenibilidad) durante el tiempo (Figura 6), esto se debe principalmente a que cuando el problema no existe o es mínimo, las personas no lo notan, no le dan la debida importancia o tienden a olvidar su causa y consecuencia y por lo tanto las acciones que mantienen el SAT en operación dejan de ser realizadas.

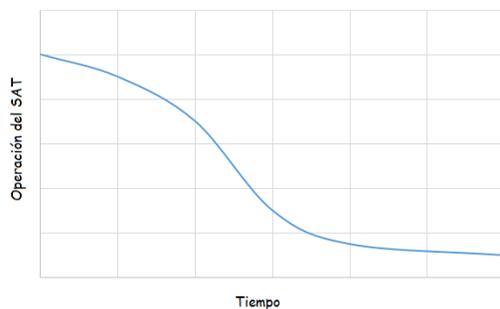


Figura 6: Gráfico de operación del SAT sin acciones de sostenibilidad

Contrarrestar este comportamiento es posible a través de la presencia continua de gobierno por medio de políticas que permitan realizar acciones en todo momento; tanto cuando existe, como cuando no existe presencia de enfermedades de este tipo en la comunidad.

De acuerdo a lo anterior, un diagrama de influencias que ilustra estos comportamientos se presenta en la Figura 7; sin la presencia de acciones políticas que promuevan la operación continuada del SAT, las actividades propias del SAT disminuirían con el tiempo, con la ausencia de

casos y de riesgo, creándose la percepción de que ya no es necesario.



Figura 7: Diagrama de influencias de la operación continua (sostenible) del SAT.

Con la presencia de políticas que promuevan acciones como educación, uso de tecnologías de información y comunicación, fomento de cultura de la salud, entre otras, las actividades de operación del SAT se pueden realizar de forma continua, de manera que se cumpla el objetivo del SAT y teniendo en cuenta que las acciones conllevan un retardo en el que se dan los resultados de las mismas.

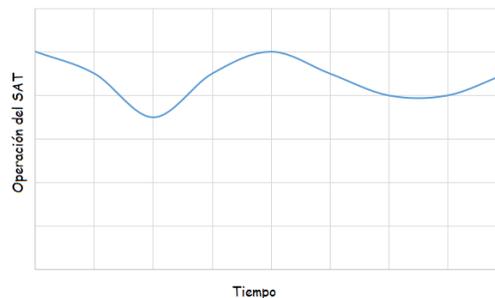


Figura 8: Gráfico de operación continuada del SAT (sostenibilidad) que puede variar de acuerdo a la presencia de riesgo de transmisión y otros factores pero mantiene una tendencia en la realización de actividades.

Estas acciones se pueden incluir en el contexto de la organización del SAT que las mantendría en el tiempo brindando al SAT la deseada característica de sostenibilidad. Teniendo en cuenta las acciones en el contexto de la organización, un diagrama complementario se muestra en la Figura 9 que ilustra como la información que se genera a partir del conocimiento es un catalizador de la existencia y operación de la organización, elemento que permite crear estrategias para la atención del problema, principalmente desde el enfoque de prevención de casos de enfermedades.



Figura 9: Segunda aproximación al diagrama de Influencias, mostrando el efecto de la organización y el flujo de información en la operación sostenida del SAT.

Cada uno de estos elementos tiene sus propias características que podrían analizarse detalladamente a través de la dinámica de sistemas para analizar su influencia en la operación del sistema, sin embargo no se detallan a fondo en este trabajo en busca de una mirada global de la operación del SAT.

### 3.2. COMPORTAMIENTOS, UNA MIRADA A TRAVÉS DEL DIAGRAMA DE FLUJO NIVEL

El factor fundamental en la operación y la sostenibilidad del SAT es el conocimiento que posean los actores, esto es, principalmente la comunidad y los funcionarios de las entidades, como actores de la organización social. En una problemática de salud pública, si no hay ocurrencia de casos durante determinado tiempo, las personas expuestas al riesgo tienden a olvidar la problemática y no tienen presente la misma. El factor olvido hace que no se tenga un conocimiento presente de la problemática y al no mantenerse el conocimiento, las personas no realizan acciones para reducir el riesgo de transmisión de enfermedades, pudiéndose producir nuevamente casos de enfermedades que se propagan entre las personas expuestas al riesgo.

En un trabajo anterior<sup>2</sup> se presentó un análisis de como el conocimiento que se encuentra presente en las personas sobre la problemática y la correcta acción a raíz de este conocimiento influyen en el funcionamiento del SAT al permitir la realización de las acciones necesarias para reducir la presencia de enfermedades y lograr el objetivo del SAT. Muestra también que ante la ausencia de estrategias para mantener el conocimiento sobre la problemática y el SAT, este va pasando a segundo plano en las personas al no tener

presencia de enfermedades y se dejan de realizar acciones de prevención y al momento de presentarse nuevamente casos las personas no se encuentran preparadas.

Teniendo en cuenta el conocimiento generado a través de acciones de información, educación y comunicación como factor fundamental para tratar la problemática a través del funcionamiento del SAT, se presenta una mirada global a la operación del SAT y su sostenibilidad, un modelo básico con dinámica de sistemas se desarrolló en términos del nivel de operación del SAT; el nivel de operación se concibe, en el modelo, como un índice de la operación de los elementos del SAT; desde la poca o nula operación hasta la operación suficiente o ideal. Este índice de operación se ve influenciado por el nivel de actividades desarrolladas. El nivel de acciones representa la realización de acciones necesarias y suficientes para mantener un índice de operación adecuado. Estas acciones, que son de tipo: educativas, de prevención, control y respuesta a la alerta temprana, son posibles si existe el conocimiento necesario entre la comunidad y las entidades que participan en el SAT.

Una correcta operación del SAT disminuye el riesgo de presencia de enfermedades en una comunidad al permitir a la misma realizar las acciones necesarias para minimizar los factores de riesgo, por ejemplo, tomando medidas para que los hogares estén protegidos de los vectores que transmiten enfermedades.

El modelo en la Figura 10, presenta el sector titulado "formación de actores" que además de representar la comunidad con conocimiento, también representa la formación de los actores de otras entidades que participan en el SAT, como el sector salud y el sector ambiente. Esta formación de los actores toma un tiempo en tener efecto en las personas, esto representado con un retardo en el modelo, a lo cual la capacidad de acción de los actores va mejorando y les permite realizar las acciones adecuadas tanto de prevención como de respuesta.

La capacidad de acción (sector "Capacidad de acciones del SAT" en Figura 10) es fomentada por el conocimiento adecuado de los actores, en tanto existan actores con conocimiento, esta capacidad se mantendrá; así mismo, si no se mantienen las actividades educativas que generen el conocimiento

<sup>2</sup> Consideraciones para la sostenibilidad de un Sistema de Alerta Temprana en Salud, Ponencia presentada en el XI

adecuado la capacidad de acción se ve disminuida debido al olvido que tiende a suceder ante atención a

otras problemáticas de las personas, la ausencia de la enfermedad, cambio generacional y otros factores.

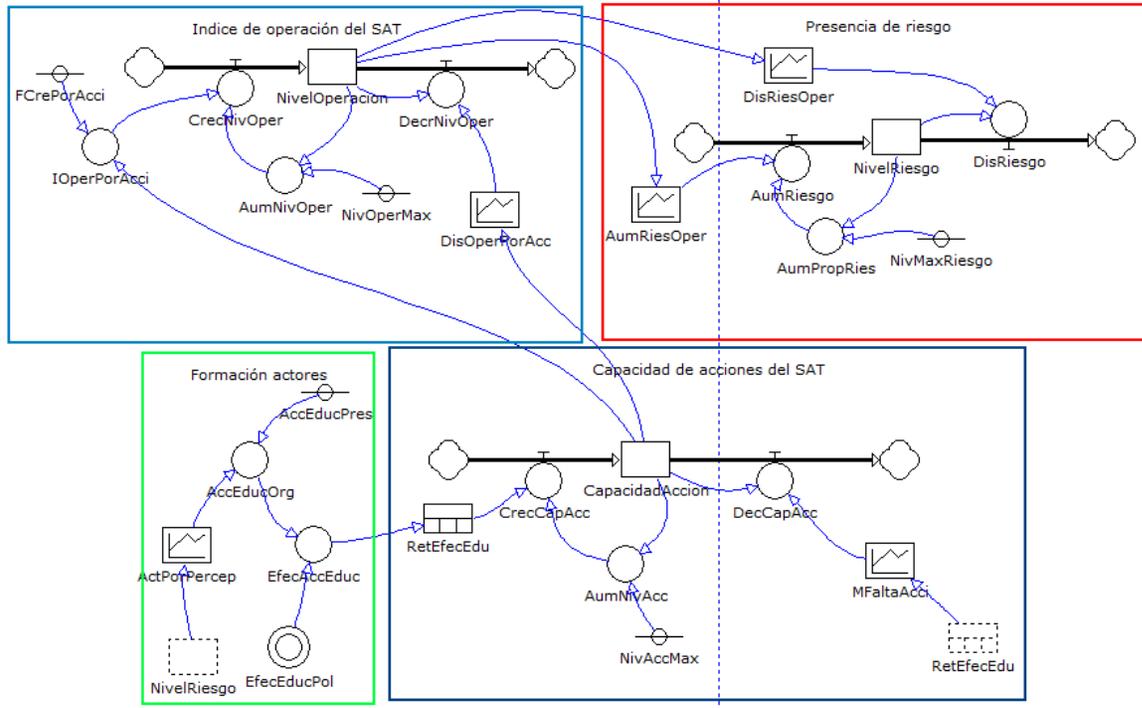


Figura 10: Modelo de operación del SAT

La capacidad de acciones del SAT influye en el índice de operación del SAT, el cual es una medida del adecuado funcionamiento del mismo. En conjunto las labores de educación y las consecuentes acciones adecuadas influyen en un mejor índice de operación del sistema. Con un índice de operación adecuado, las acciones realizadas por la comunidad y las entidades en el contexto del SAT influyen en la presencia del riesgo en la comunidad; las acciones reducen los factores de riesgo de las enfermedades ayudando a evitar casos y atendiendo oportunamente los casos que se presentan.

El objetivo del modelo es explorar los comportamientos del SAT considerando el principal factor que fomenta la operación y la sostenibilidad, el factor educación a través de tres escenarios considerados a raíz de la investigación:

El primer escenario muestra cómo se comporta el SAT solo con las actividades educativas normales que están presentes en la comunidad y usualmente no hacen énfasis en los problemas de salud pública. En este escenario no existe una estrategia o política educativa externa que se encargue de mantener el conocimiento constante en la comunidad. Esta estrategia externa se

representa en el modelo con una variable exógena (*EfecEducPol*) que para este escenario se encuentra en cero. La Figura 11 muestra el comportamiento de las acciones del SAT y el índice de operación del SAT que crecen debido a la educación local pero no son suficientes para reducir el riesgo a un nivel adecuado (línea superior en la figura).

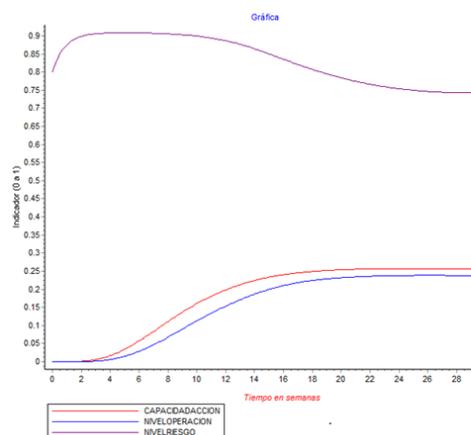


Figura 11: Ausencia de estrategias externas

El siguiente escenario muestra una situación que se presenta habitualmente con algunos problemas de

salud pública como el Dengue. Este es un escenario reactivo, en el cual las campañas y estrategias de educación externas se implementan cuando se dan los inicios de epidemias en una población. La Figura 12 ilustra este escenario donde el riesgo disminuye a raíz de las acciones que se realizan como resultado de las estrategias educativas externas que se implementan tras la presencia de casos. Las acciones reactivas no logran evitar todos los casos posibles debido a usualmente son acciones mayormente de control más que prevención y no actúan con el suficiente tiempo, adicionalmente generan costos adicionales ya que requieren hacer esfuerzos cada vez que se presenten casos de enfermedades.

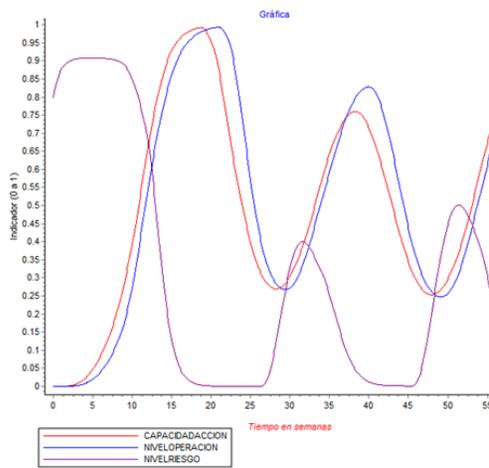


Figura 12: Estrategias educativas externas reactivas

El tercer escenario es donde se mantienen estrategias educativas externas que permitan a las personas tener un conocimiento continuo de la problemática y del SAT y realice acciones adecuadas de promoción y prevención. Las estrategia educativas se mantienen aunque la presencia de riesgo sea mínimo, el funcionamiento del SAT es ideal si se presentan pocos casos e ideal si no se presentan casos de transmisión de las enfermedades en la población. La Figura 13 presenta este escenario, donde una vez se implementan estrategias educativas continuas, el riesgo de transmisión de enfermedades se mantiene bajo y la operación y capacidad de acción del SAT se mantienen en niveles suficientes.

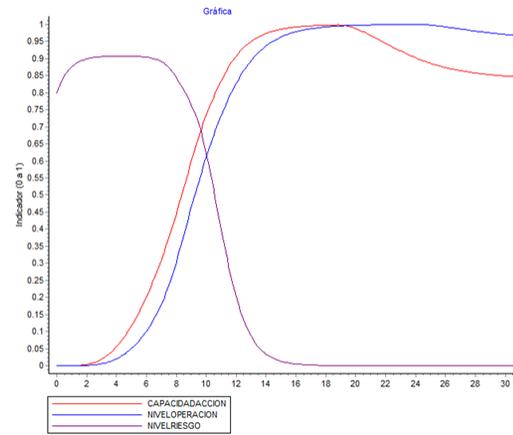


Figura 13: Estrategias educativas externas continuas

Estos tres escenarios muestran la importancia de la educación como base para el establecimiento de un sistema de alerta temprana y para su operación correcta y continua, en otras palabras, su sostenibilidad

#### 4. ALGUNAS CONCLUSIONES

El SAT más allá de como su nombre lo indica tiene el objetivo de prevenir, controlar y establecer alertas tempranas ante la posible presencia de la enfermedad de Chagas en la comunidad. De igual puede ser de gran utilidad en otros problemas similares de salud como el Dengue.

La presencia de casos de enfermedades como el Chagas o el Dengue es una manifestación de ausencia o ineffectividad de las acciones de prevención o atención oportuna a las comunidades al riesgo. Así mismo la presencia del riesgo de transmisión y la existencia de casos demanda la creación de un SAT

La educación se convierte en una base fundamental para el establecimiento, la operación y la sostenibilidad del SAT, ya que permite que tanto la comunidad como personal del sector salud y ambiente conozcan el problema y actúen adecuadamente.

No es suficiente con la educación normal que se tiene en las comunidades, en donde normalmente no se hace énfasis en los problemas de salud que las amenaza, es necesario establecer estrategias o políticas de educación externas que impulsen el correcto accionar de las personas sobre la problemática y en el contexto del SAT.

Se hace necesario comprender el problema de la sostenibilidad por parte de quienes toman decisiones y establecen políticas, para crearla, promoverla, diseñar las estrategias que la hagan surgir, crear las condiciones que la hagan existir y que poco a poco la constituyan en una cultura (que se sostiene por iniciativa casi propia de la comunidad apoyada por la organización del SAT).

La dinámica de Sistemas sirvió en este trabajo como una herramienta que permitió comprender mejor el problema de la operación y sostenibilidad del SAT, explorar algunos comportamientos de acuerdo al factor educativo y como se relaciona con el SAT y el riesgo, todo esto ante un sistema que aún no se ha implementado en su totalidad.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Organización Panamericana de la Salud, «Chagas Disease,» [En línea]. Available: [http://new.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=3591&Itemid=3921&lang=es](http://new.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=3591&Itemid=3921&lang=es). [Último acceso: 25 Junio 2013].
- [2] G. Muñoz Mantilla, «Determinación de zonas de riesgo de transmisión de Trypanosoma cruzi vía oral e implementación de un sistema de alerta temprano para chagas agudo en Bucaramanga,» Bucaramanga, 2011.
- [3] UN/ISDR, «Terminología: Términos básicos sobre Reducción del Riesgo de Desastre,» 2004.
- [4] United Nations, «Global Survey of Early Warning Systems,» Bonn, 2006.
- [5] R. Fuenmayor, Interpretando Organizaciones... Una Teoría Sistémico-Interpretativa de las Organizaciones, Mérida, Estado de Mérida: Consejo de estudios de Posgrado y Consejo de publicaciones de la Universidad de los Andes, 2001.
- [6] P. Checkland y J. Poulter, Learning for Action: A short Definitive Account of Soft Systems Methodology and its use for Practitioners, Teachers and Students, Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2006, p. 200.
- [7] P. Checkland y S. Holwell, Information, Systems and Information Systems: Making Sense of the Field, Chichester: John Wiley, 1998.
- [8] UN/ISDR, «Desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana: Lista de Comprobación,» Bonn, 2006.
- [9] UNESCO San José, «Foro Virtual: Los Sistemas de Alerta Temprana en Centroamérica: Una Tarea Pendiente,» San José, 2013.
- [10] UNEP, «Early Warning Systems: A State of the Art Analysis and Future Directions,» Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, 2012.
- [11] L. E. Guerra González, G. Muñoz Mantilla y H. H. Andrade Sosa, «Consideraciones dinámico-sistémicas para la sostenibilidad de un Sistema de Alerta Temprana en Salud,» de *Memorias XI Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*, México D.F., 2013.

## 92. MODELAMIENTO DINÁMICO DE FACTORES DE ÉXITO DE UN SISTEMA DE EMPRENDIMIENTO

**OSCAR RUBIANO PHD., CLÍMACO RAÚL BURBANO ING.**

Universidad del Valle - Colombia  
oscar.rubiano@correounivalle.edu.co, burcr@misena.edu.co

**JOHAN MANUEL REDONDO PHD**

Universidad ECCI - Colombia  
jredondo@ecc.edu.co

### RESUMEN

En este artículo se propone un modelo sistémico y dinámico para la gestión del emprendimiento de un proceso emprendedor. El modelo construido pretende evaluar oportunidades de mejoramiento para el proceso de emprendimiento en su cadena de valor evaluando cinco (5) criterios de éxito del emprendimiento a tener en cuenta: la calidad de la idea de negocio, la actitud hacia el emprendimiento, la calidad del plan de negocio, la actitud frente al riesgo, la habilidad gerencial y las actitudes personales del emprendedor. Se propone la realización de ejercicios de Coaching que incrementen las calificaciones de los criterios de éxito del emprendimiento. El modelo se evalúa bajo dos escenarios distintos. Los resultados son alentadores para la implementación de este modelo en el mejoramiento de los procesos de los fondos de emprendimiento.

**PALABRAS CLAVES:** Dinámica de sistemas, emprendimiento, planes de negocios, factor de éxito del emprendimiento.

### 1. INTRODUCCIÓN

El impacto del emprendimiento y la innovación sobre los negocios en Colombia ha resultado muy difícil de lograr por parte de los organismos creados como impulsores en este país. A nivel internacional se evidencia que los niveles más altos de desarrollo corresponden a países que muestran también altos niveles de emprendimiento innovador en sus economías.

En Colombia se ha intentado fortalecer el emprendimiento desde una iniciativa que le apunta a la creación de nuevas empresas, tanto desde el esfuerzo colectivo de los entes públicos como de los privados.

Igualmente, han entrado en este proceso las universidades, instituciones de formación profesional, debido principalmente a la ley 1014 que determina que todas las instituciones de formación profesional tienen la obligación de tener unidades de emprendimiento. De manera particular, en Colombia, el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), se ha convertido en uno de los

soportes fundamentales para llevar a cabo este proceso, con base en metodologías y herramientas bien intencionadas para que un ciudadano con espíritu empresarial, pueda hacer emprendimiento.

De acuerdo con Varela y Bedoya (2006), para lograr emprendimiento es necesario un proceso en el cual deben intervenir un conjunto de variables sociales, culturales, psicológicas y económicas que contribuyan junto con el conjunto de conocimientos específicos, a desarrollar una serie de competencias con el objetivo de que el futuro empresario tenga altas probabilidades de ser exitoso, capaz de generar riqueza y desarrollo social a lo largo de su existencia. Al respecto, la tarea consiste en comprender que elevar el nivel de productividad y competitividad empresarial, implica apoyar más la investigación y el desarrollo del ser, con elementos técnicos y científicos, ya que la verdadera fuente de riqueza de las sociedades no es su nivel de productividad, ni su producto interno bruto, ni sus bienes tangibles, sino la inteligencia creativa y el potencial emprendedor de sus habitantes.

En este documento se presenta un modelo sistémico como herramienta de representación de un sistema de emprendimiento, para estudiar los factores de éxito que resultan relevantes a la hora de apoyar los futuros emprendedores y sus propuestas, tomando como piloto la gestión del Fondo Emprender (FE) en el Valle del Cauca-Colombia. Este modelo permite evaluar las políticas del sistema de emprendimiento mediante la simulación de diferentes escenarios.

Esta investigación esta soportada en las diferentes teorías que estudian el emprendimiento empresarial. Aunque en la literatura sobre la simulación de la cadena de valor de emprendimiento sea poca, existen investigaciones cualitativas cuyos objetivos se acercan a la identificación de los factores que inciden en el éxito de un proceso de emprendimiento. Varela (2006), Burea (2009), Redemprendia (2012), Las memorias del V Congreso Internacional de Contaduría Pública (2011), Rocha (2002), Valls y otros (2012), entre otros, hacen referencia de manera común, a que existen factores de éxito controlables, y a la posibilidad de que los emprendedores mitiguen el riesgos de fracaso al iniciar una propuesta empresarial.

Después de la introducción, en la segunda parte de este artículo, se muestran los antecedentes que conllevan al estudio, la tercera parte es el desarrollo metodológico, la cuarta, el modelamiento con dinámica de sistemas y en la quinta parte, se presenta la discusión de los resultados y conclusiones.

## 2. ANTECEDENTES QUE CONLLEVAN AL ESTUDIO

A continuación, se presentan antecedentes claves que han motivado este estudio en la región definida.

### 2.1 Políticas Públicas

Según el Censo general realizado por el DANE en el año 2005, la estructura empresarial colombiana está conformada principalmente por Microempresas y Pymes, las cuales representan al menos el 90% del total empresarial nacional, las cuales generan el 73% del empleo, y el 53% de la producción bruta de los sectores industrial, comercial y de servicios.

Resulta de vital importancia apoyar en Colombia a los nuevos emprendedores, como política de aumento del potencial para la generación riqueza, de empleo, así como la contribución al crecimiento de exportaciones no tradicionales. Es así que, buscando un empuje mayor para este sector, el gobierno emitió La Ley 789 de 2002

para apoyar el empleo y ampliar la protección social. El artículo 40 de la ley 789 crea el FONDO EMPRENDER (FE), como respuesta a una necesidad latente de financiar iniciativas empresariales. La cual es una cuenta independiente adscrita y administrada por el SENA.

El FE es la principal fuente de recursos de capital semilla en Colombia, y financia la creación de proyectos empresariales, o financia a empresas con menos de un año de haberse constituido legalmente, procedentes de Colombianos mayores de 18 años que cumplan con el perfil establecido por el acuerdo 007 de 2011. El acuerdo contempla los siguientes requisitos al aspirante a recibir fondos: ser estudiante del SENA y que haya finalizado la etapa lectiva, o sea egresado de un programa cuyo título haya sido obtenido en los últimos 60 meses; estudiante que se encuentre cursando los dos últimos semestres de un programa de formación de pregrado; estudiante que haya concluido asignaturas dentro de los últimos 12 meses de pregrado, técnicos profesional, tecnólogo o profesional, cuyo título haya sido obtenido durante los últimos 60 meses. Para los efectos legales de reconocimiento de las titulaciones, estas deben estar amparadas y reconocidas por ley 30 de 1992 y 115 de 1992.

Igualmente, el plan nacional de Desarrollo 2010 – 2014 plantea estrategias que propenden por la generación de oportunidades de empleo, la disminución de la pobreza, el incremento de la seguridad y la igualdad de oportunidades a través de la empleabilidad y el fomento al emprendimiento. Ubicados dentro de este contexto estratégico, el reto para las Unidades de Emprendimiento del SENA y de todas las Entidades de educación superior es grande, puesto que varios de estos pilares estratégicos se apoyan en el emprendimiento como medio para el logro de los resultados propuestos por el Gobierno Nacional y su política de inclusión social.

En el año 2006 el gobierno nacional crea la ley 1014 como herramienta para promover en todos los establecimientos educativos públicos y privados del país, desde el preescolar hasta la universidad, la creencia de que son capaces de construir un mejor futuro, partiendo de la importancia de generar empresa, empleo y capital social.

### 2.2 Descripción del problema

El crecimiento económico y social, está estrechamente relacionado con la creación y desarrollo de empresas

sostenibles. Distintos estudios aportan evidencias acerca de su contribución a la generación de puestos de trabajo, a la innovación, a la diversificación del tejido productivo, al fortalecimiento del espacio de la pequeña y mediana empresa y a la equidad.

Según resultados de la metodología del "Global Entrepreneurship Monitor" 2011-2012, (GEM), el 21,4 % de la población activa en Colombia (18-64 años), en el año 2011 se encontraba involucrada en actividades de emprendimiento. El emprendimiento en Colombia tiene la tasa más alta del mundo, 73,1% de la población activa, que considera que hay buenas condiciones para realizar iniciativas, ocupando el primer lugar entre los 56 países miembros de GEM (2011). Para complementar esta información se resalta que el 89,4 % de la población colombiana afirma que ser empresario es una alternativa de carrera satisfactoria y de desarrollo personal.

Según Kantis (2002), un estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en trece países de América latina, el este de Asia y el sur de Europa, se revela que el 90% de las nuevas firmas mueren en el primer año, entre las posibles causas que afectan de manera directa a los emprendedores, se encuentra la falta de oportunidades de empleo, el limitado acceso al crédito, las condiciones del entorno económico, la tramitología y el alto costo de la inversión, afectando directamente a los emprendedores. Igualmente, se detectó que las oportunidades de negocio son de menor calidad para las empresas latinas, contrario a lo que ocurre en los distritos industriales de Italia o los asiáticos, donde la articulación con otras firmas es una fuente importante de oportunidades para el nacimiento y el desarrollo de nuevas industrias. Según la comparación realizada por el mismo estudio del BID, el proceso emprendedor en América Latina, encuentra su fuente de motivación en las compañías donde los aspirantes trabajaron previamente, porque aprenden cómo manejar las redes de contactos, identificar oportunidades de negocio y conocer de accesos a tecnología o a financiamiento. Igualmente se encontró que a los latinos los motiva a hacer empresa, la necesidad de desarrollo y realización personal, así como el deseo de contribuir a la sociedad, y destacarse como un futuro empresario adquiriendo estatus.

Según Kantis (2007), las nuevas empresas ayudan a fortalecer la actividad económica, permitiendo engrosar la recaudación y viabilizar una mayor inversión en áreas ligadas al desarrollo social. En este estudio se hace un

análisis riguroso con respecto al pasado inmediatamente anterior (2002-2012), de todos estos emprendimientos u empresas surgidas en el Valle del Cauca, de la mano con de la creación del Fondo Emprender, en el año 2002 y posteriormente, como una política de estado con la creación de la ley 1014 en el 2006. Se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo utilizar un modelo dinámico que permita estudiar los factores que impactan el éxito de las iniciativas emprendedoras, en cada una de sus fases, desde la idea hasta la empresa conformada y operando?

La política nacional y el plan de desarrollo 2014 que el gobierno planteó en cuanto al tema de creación de empresas con capital semilla Fondo Emprender y el SENA, presenta un panorama en el que las empresas creadas bajo esta línea de financiamiento no son lo suficientemente estables y duraderas. El 86 % de las empresas creadas en el Valle del cauca bajo esta figura poseen dificultades de orden financiero, de mercadeo, de gerencia, de falta de asociaciones (clusters) en el sector productivo, de uso de tecnología e innovación, entre otras (SENA, 2014 documento Interno). La hipótesis está basada en la revisión de un conjunto de cinco variables o criterios que se consideran como los más relevantes a este proceso emprendedor: calidad de la idea de negocio, actitud hacia el emprendimiento por parte del aspirante, calidad del plan de negocio, actitud frente al riesgo, y habilidades gerenciales junto con habilidades personales.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología para desarrollar la investigación, es exploratoria y descriptiva, y se asume una analogía entre las fases del ciclo de vida de las iniciativas emprendedoras y una cadena de valor.

#### 3.1 Caracterización de la cadena de valor y análisis estructural del problema del emprendimiento

Se entiende como cadena de valor, todas las actividades de planeación, ejecución y control que se realizan para entregar valor a los clientes (Womack & Jones, 2005). El modelo construido, parte de la caracterización de la cadena de valor de emprendimiento para el Fondo Emprender, a través de la cual se estudia y se evalúa una iniciativa de emprendimiento. La cadena de valor inicia desde el momento en que un ciudadano propone una idea de negocio en una unidad de emprendimiento, hasta el momento en que la empresa formada y operando es

evaluada por el Fondo Emprender, para decidir si el recurso asignado se convierte en capital semilla condonado, o si debe ser asumido por el empresario como una deuda con sus respectivos términos de pago. La herramienta usada para la caracterización del Sistema de Formación para el Emprendimiento (SFPE) es el diagrama SIPOC (Simón, 1981), cuyo nombre proviene de su sigla en inglés: Suppliers (S), Inputs (I), Process (P), Outputs (O) y Customers (C); traducida al castellano queda como Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas y Clientes. En la figura (1) se presenta el SIPOC.

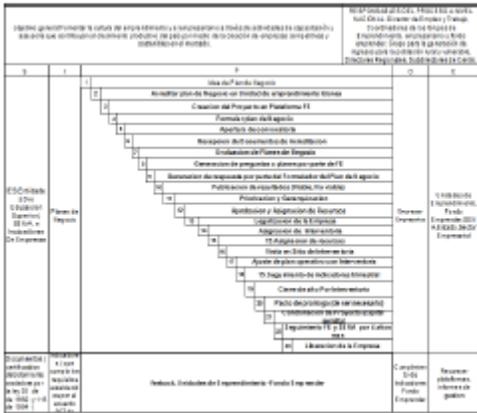


Figura (1): SIPOC- cadena de valor del Emprendimiento.

3.2. Causas derivadas de la ineficiencia del emprendimiento en la región.

En la Tabla 1, se resumen las causas de las deficiencias del sistema.

Tabla (1): Resumen de deficiencias del emprendimiento en la región

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Los estudios de mercado realizados no son suficientes, y en muchas ocasiones apropiados para la toma de decisiones, en cuanto a ejecución del proyecto.
2	Los emprendedores, no son suficientemente conscientes al asumir el riesgo financiero.
3	Los emprendedores, no poseen las competencias necesarias, para asumir la responsabilidad gerencial.
4	Las políticas de regulación estatal, aún tienen inconsistencias en cuanto al ejercicio del emprendimiento.
5	Existen deficiencias en la formulación de los planes de negocio.
6	No se aplican metodologías, para medir las diferentes variables emprendedoras.
7	Los emprendedores, no cuentan con las habilidades personales y gerenciales.

4. EL MODELAMIENTO CON DINÁMICA DE SISTEMAS

Para el modelamiento del esquema de emprendimiento que se propone en este estudio, se han considerado cinco módulos del sistema: el módulo de ideas de negocio, el módulo de planes de negocio, el módulo de

emprendedores, el módulo de empresarios y el módulo del factor de éxito, como se presenta en la Figura (2).

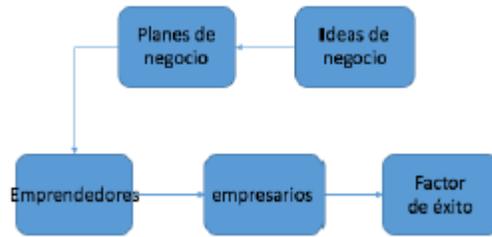


Figura (2): Módulos utilizados en el modelamiento.

En la representación realizada del sistema, solo se obtiene una realimentación, la cual es de compensación en el módulo de las ideas de negocio. La realimentación emerge porque en esta etapa del proceso puede darse el desarrollo de acompañamientos especializados en emprendimiento, denominados coaching. Así, entre más ideas de negocio se tengan, más serán rechazadas, entonces se implementa el coaching, haciendo que las ideas se conviertan en planes de negocio propuestos para evaluación, de modo que se disminuyan las ideas de negocio acumuladas en el fondo de emprendimiento. Vease la Figura (3).



Figura (3): Diagrama causal módulo 1 para las ideas de negocio.

El diagrama de niveles y flujos (Aracil, 1992; Forrester, 1986) correspondiente al módulo 1 de las ideas de negocio, se presenta en la Figura (4).

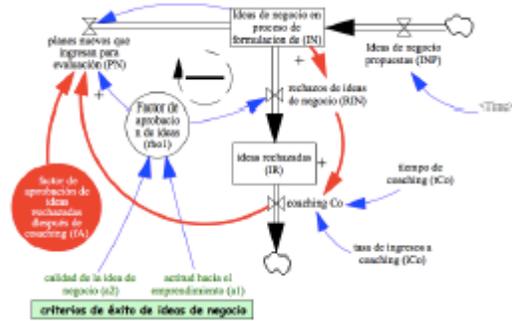


Figura (4): Diagrama de niveles y flujos del Módulo 1, ideas de negocio.

Las ecuaciones para el módulo 1 de las ideas de negocio se explican a continuación.

El cambio infinitesimal de las ideas de negocio  $IN$  con respecto al tiempo  $t$  es la diferencia entre las ideas de negocio propuestas  $INP$  y la suma de, los planes nuevos que ingresan para evaluación  $PN$  con los rechazos de ideas de negocio  $RIN$ , como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{dt}IN = INP - (PN + RIN) \quad (1)$$

Las ideas de negocio propuestas  $INP$  se han considerado como una función del tiempo  $t$ :

$$INP = f(t) \quad (2)$$

De ese modo, todo el sistema es estimulado por la función tabla  $f(t)$  que contiene los datos históricos del sistema o los datos que se desean evaluar.

Los planes nuevos que ingresan para evaluación  $PN$  serán una fracción de las ideas de negocio  $IN$ , condicionadas por el factor de aprobación de ideas  $\rho_1$ :

$$PN = \rho_1 \cdot IN \quad (3)$$

Dado que en este sistema se ha implementado la política de realizar coaching  $Co$  a las ideas que sean rechazadas  $IR$ , los planes nuevos también incluirán la cantidad de ideas rechazadas  $IR$  que después del coaching  $Co$  sean aprobadas, con factor de aprobación de ideas rechazadas después de coaching  $fA$ , de modo que los planes nuevos  $PN$  dependerán de las ideas nuevas aprobadas  $\rho_1 \cdot IN$  y de las ideas rechazadas  $IR$  que después de coaching  $Co$  serán aceptadas:

$$PN = \rho_1 \cdot IN + fA \cdot Co \quad (4)$$

El factor de aprobación  $\rho_1$  depende de la satisfacción de criterios de éxito para las ideas de negocio, que en el modelo de emprendimiento que se propone son la actitud hacia el emprendimiento  $a_1$ , y la calidad de la idea de negocio  $a_2$ , como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\rho_1 = \frac{1}{20} (a_1 + a_2) \quad (5)$$

Los rechazos de ideas de negocio  $RIN$  serán la fracción  $1 - \rho_1$ , de ideas de negocio nuevas que no fueron aprobadas:

$$RIN = (1 - \rho_1) \cdot IN \quad (6)$$

El cambio infinitesimal de las ideas rechazadas  $IR$  con respecto al tiempo  $t$  es la diferencia entre los ya mencionados rechazos de ideas nuevas  $RIN$  y el coaching  $Co$ :

$$\frac{d}{dt}IR = RIN - Co \quad (7)$$

El coaching  $Co$  es un proceso que debe considerar un retardo  $tCo$  en el tiempo para la realización del programa de coaching, de esta manera, antes del tiempo que toma su realización, no se tendrá ninguna idea de negocio nueva para introducir en el programa de planes nuevos.

Al cumplirse el tiempo de coaching  $tCo$ , solo una fracción  $iCo$  de los rechazos de ideas de negocio  $RIN$  podrá entrar al proceso de planes nuevos:

$$Co = \begin{cases} 0 & t < tCo \\ iCo \cdot RIN & t \geq tCo \end{cases} \quad (8)$$

Los diagramas de niveles y flujos de los módulos restantes se presentan en las Figuras (5) al (8). Sus ecuaciones también se presentan a continuación.

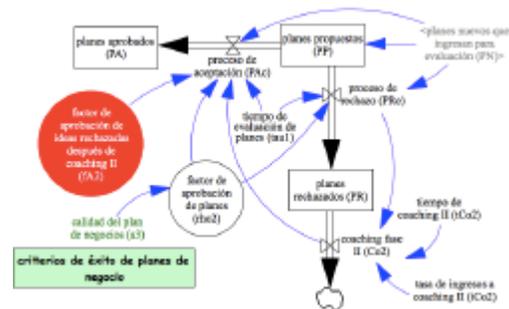


Figura (5): Diagrama de niveles y flujos del Módulo 2, planes de negocio.

El cambio infinitesimal de los planes propuestos  $PP$  con respecto al tiempo  $t$  es la diferencia entre los planes nuevos que ingresan para evaluación  $PN$  y la suma entre, los planes en proceso de aceptación  $PAc$  con los planes en proceso de rechazo  $PRE$ :

$$\frac{d}{dt}PP = PN - (PAc + PRE) \quad (9)$$

Los planes nuevos  $PN$  ya han sido definidos líneas atrás. Los planes en proceso de aceptación  $PAc$

corresponderían al factor de aprobación  $\rho_2$  de los planes nuevos  $PN$  que al ser evaluados en un tiempo  $\tau_1$  fueron aprobados, de este modo, antes del tiempo  $\tau_1$  de evaluación, no se tendría ningún plan en proceso de aceptación, pero superado este tiempo  $\tau_1$ , se tendría la fracción  $\rho_2$  de los planes nuevos que ingresan, es decir,

$$PAc = \begin{cases} 0 & t < \tau_1 \\ \rho_2 \cdot PN & t \geq \tau_1 \end{cases} \quad (10)$$

Donde el factor de aprobación  $\rho_2$  depende de la satisfacción de criterios de éxito para los planes de negocio, que en el modelo de emprendimiento que se propone solo incluye la calidad del plan de negocio  $a_3$ , como sigue:

$$\rho_2 = \frac{1}{10} a_3 \quad (12)$$

Pero, de nuevo, se considera que en el sistema de emprendimiento, ha de tenerse en cuenta el coaching  $Co_2$ , ahora en su segunda etapa. De este modo, los planes nuevos  $PN$  que al ser evaluados fueran rechazados  $PRe$ , tendrían un Coaching  $Co_2$  para calificar como planes aprobados, lo cual dependerá del factor de aceptación de planes rechazados después de coaching  $fA_2$ , como se muestra en la siguiente ecuación:

$$PAc = \begin{cases} 0 & t < \tau_1 \\ \rho_2 \cdot PN + fA_2 \cdot Co_2 & t \geq \tau_1 \end{cases} \quad (13)$$

Notese que el modelamiento de los planes en proceso de aceptación  $PAc$  difiere del presentado para planes nuevos que ingresan  $PN$ . Mientras para los planes en proceso de aceptación  $PAc$  se utilizó un retardo tipo tubería bajo la idea de que el primero que entra es el primero que sale, en los planes nuevos que ingresan se utilizó un retardo de primer orden bajo la idea de mezcla perfecta de las ideas de negocio que entran al programa de emprendimiento. Esto se justifica por los volúmenes y tiempos distintos que poseen cada uno de estos procesos.

El proceso de rechazo considera un retardo  $\tau_1$  que corresponde al tiempo de evaluación del plan, así antes del tiempo de evaluación  $\tau_1$  no se rechaza nada, pero después de este tiempo tendremos la fracción  $1 - \rho_2$  de los planes nuevos que ingresan como planes en proceso de rechazo. La ecuación es como sigue:

$$PRe = \begin{cases} 0 & t < \tau_1 \\ (1 - \rho_2) \cdot PN & t \geq \tau_1 \end{cases} \quad (14)$$

El cambio infinitesimal de los planes aprobados  $PA$  y de los planes rechazados  $PR$  con respecto al tiempo se presenta a continuación:

$$\frac{d}{dt} PA = PAc \quad (15)$$

$$\frac{d}{dt} PR = PRe - Co_2 \quad (16)$$

Donde el coaching en segunda base  $Co_2$  debe cumplir un tiempo de coaching  $tCo_2$  antes de aprobar una fracción  $iCo_2$  de los planes rechazados, como sigue:

$$Co_2 = \begin{cases} 0 & t < tCo_2 \\ iCo_2 \cdot PRe & t \geq tCo_2 \end{cases} \quad (17)$$

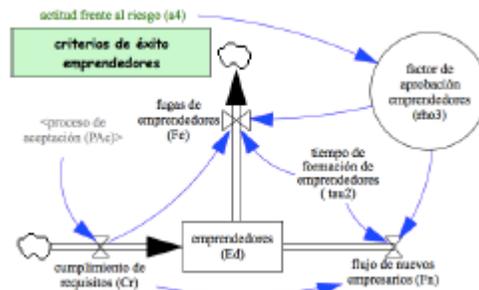


Figura (6): Diagrama de niveles y flujos del Módulo 3, emprendedores.

El cambio infinitesimal de los emprendedores ( $Ed$ ) con respecto al tiempo  $t$ , es la diferencia entre el cumplimiento de requisitos  $Cr$  y la suma entre, el flujo de nuevos empresarios  $Fn$  con la fuga de emprendedores  $Fe$ :

$$\frac{d}{dt} Ed = Cr - (Fn + Fe) \quad (18)$$

Por simplicidad, se ha considerado que los que cumplen los requisitos  $Cr$  para ser denominados emprendedores, son aquellos que han logrado que su plan esté en el proceso de aceptación  $PAc$ , de modo que:

$$Cr = PAc \quad (19)$$

El flujo de nuevos empresarios  $Fn$  es el número de aquellos emprendedores que desde el cumplimiento de requisitos  $Cr$  y después de un tiempo  $\tau_2$  continúan satisfactoriamente en el proceso, con un factor de aceptación  $\rho_3$ :

$$Fn = \begin{cases} 0 & t < \tau_2 \\ \rho_3 \cdot Cr & t \geq \tau_2 \end{cases} \quad (20)$$

Donde el factor de aceptación  $\rho_3$  depende de criterios de éxito de los emprendedores, como lo es la actitud frente al riesgo  $a_4$ :

$$\rho_3 = \frac{1}{10} a_4 \quad (21)$$

La fuga de emprendedores  $Fe$ , por su parte, corresponderá a aquellos que no terminan el proceso de

emprendimiento por las razones que sean y, por lo tanto, corresponderán a la fracción  $1 - \rho_3$  de los que cumplieron los requisitos:

$$Fe = \begin{cases} 0 & t < \tau_2 \\ (1 - \rho_3) \cdot Cr & t \geq \tau_2 \end{cases} \quad (22)$$



Figura (7): Diagrama de niveles y flujos del Módulo 4, empresarios.

El cambio infinitesimal de los empresarios con respecto al tiempo  $t$ , es la diferencia entre el flujo de nuevos empresarios  $F_n$  y la suma entre, el flujo de empresarios exitosos  $F_x$  con los empresarios que quiebran  $Q$ :

$$\frac{d}{dt} Es = F_n - (F_x + Q) \quad (23)$$

El flujo de empresarios exitosos  $F_x$  es el número de aquellos empresarios que desde el flujo de nuevos empresarios y después de un tiempo  $\tau_3$  han logrado la consolidación de sus empresas, con un factor de aceptación  $\rho_4$ :

$$F_x = \begin{cases} 0 & t < \tau_3 \\ \rho_4 \cdot F_n & t \geq \tau_3 \end{cases} \quad (24)$$

Donde el factor de aceptación  $\rho_4$  depende de los criterios de éxito de los empresarios: habilidades gerenciales  $a_5$  y habilidades personales  $a_6$ , de la siguiente manera,

$$\rho_4 = \frac{1}{20} (a_5 + a_6) \quad (25)$$

La quiebra de empresarios  $Q$ , por otro lado, corresponderá a aquellos que no alcanzaron el éxito con sus empresas por las razones que sean y, por lo tanto, corresponderán a la fracción  $1 - \rho_4$  del flujo de nuevos empresarios:

$$Q = \begin{cases} 0 & t < \tau_3 \\ (1 - \rho_4) \cdot F_n & t \geq \tau_3 \end{cases} \quad (26)$$

El cambio infinitesimal de los empresarios exitosos  $E_e$  con respecto al tiempo  $t$ , es el flujo de empresarios exitosos:

$$\frac{d}{dt} E_e = F_x \quad (27)$$

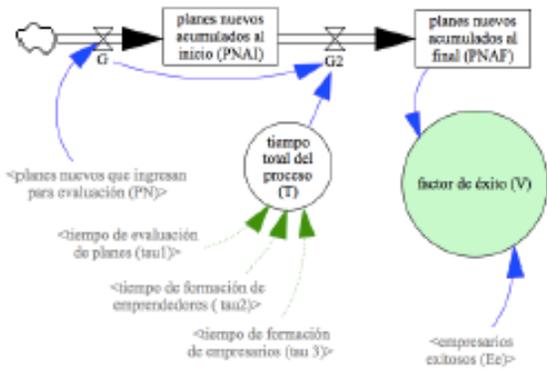


Figura (8): Diagrama de niveles y flujos del Módulo 5, factor de éxito.

Para establecer el factor de éxito  $V$  se realiza el cociente entre los empresarios exitosos  $E_e$  y los planes acumulados al final del proceso  $PNAF$ :

$$V = \frac{E_e}{PNAF} \quad (28)$$

Estos planes acumulados al final del proceso  $PNAF$  son los planes nuevos que que ingresaron para evaluación, retardados por el tiempo total del proceso  $T$ , definido como la suma del tiempo de evaluación de planes  $\tau_1$ , el tiempo de formación de emprendedores  $\tau_2$  y el tiempo de formación de empresarios  $\tau_3$ :

$$T = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \quad (29)$$

### 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de algunas de las simulaciones realizadas se presentan a continuación, suponiendo dos escenarios diferentes.

Los escenarios se definieron a partir de las calificaciones obtenidas en los criterios de éxito propuestos en este documento. El primer escenario supone que las calificaciones no son perfectas, Figuras (9) y (10), mientras que el segundo asume que la calificación de cada uno de los criterios es la máxima (escenario ideal), Figuras (11) y (12).

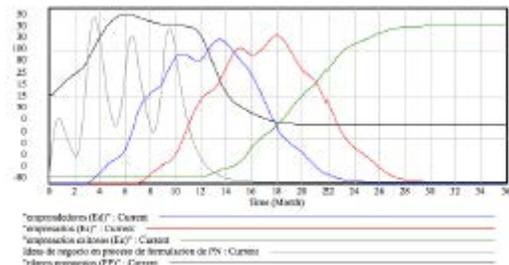


Figura (9) Simulación de un escenario con calificaciones imperfectas de los factores de éxito.

Las simulaciones del primer escenario se presentan en la Figura (9), donde vemos el pulso que entra al sistema durante un año, vea línea gris. Cada pico es una nueva convocatoria. En negro se observa la acumulación de planes y luego la forma como esta señal de planes va corriendo en el tiempo convirtiéndose en emprendedores, empresarios y empresarios exitosos, en las señales azul, roja y verde, respectivamente. Las diferencias en los tamaños de las curvas corresponden a los escalamientos automáticos realizados por el software utilizado.

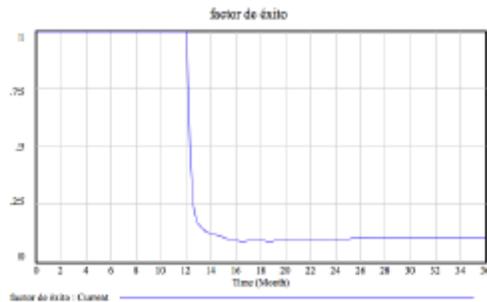


Figura (10) Simulación del factor de éxito de un sistema con fallas.

Dado que las calificaciones de los factores de éxito son imperfectas, se espera que el factor de éxito del sistema de emprendimiento no sea el mejor, ver Figura (10).

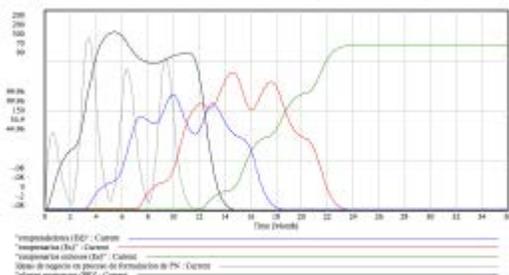


Figura (11): Simulación del escenario ideal en el que el sistema no tiene ningún fallo.

La simulación del segundo escenario se presenta en la Figura (11). Para este escenario idealizado, las ideas de negocio y los planes de negocio son aceptados en su totalidad, además, no se tienen retiros de emprendedores ni quiebras de los empresarios. Nótese entonces, que aunque las curvas son muy parecidas a las de la Figura (9), acumulan valores más altos y, adicionalmente, el factor de éxito es uno (1), para cualquier instante de tiempo, ver Figura (12).

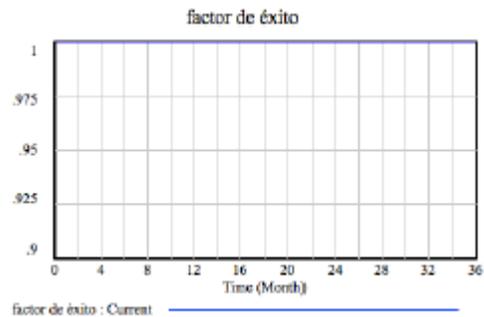


Figura (12) Simulación del factor de éxito en un sistema idealizado.

## 6. CONCLUSIONES

En este documento se ha presentado un modelo para la gestión del emprendimiento. En el modelo se proponen un conjunto de criterios que durante la cadena de valor de una iniciativa de emprendimiento, determinan, desde la idea de negocio, el factor de éxito de la gestión del emprendimiento, que se traduce en un empresario exitoso.

En el modelo se propone la medición del factor de éxito del emprendimiento utilizando los mencionados criterios. En caso de que el factor de éxito no sea del 100%, se propone el establecimiento de programas de coaching que deben ejecutarse al iniciar el proceso, de modo que los aprendices de emprendimiento puedan corregir sus prácticas desde el principio de su ejercicio empresarial.

Las simulaciones del modelo obtenido, bajo condiciones normales y óptimas de éxito, presentan comportamientos como los que se esperarían de la gestión del emprendimiento.

Esta herramienta podría ser muy útil para los fondos de emprendimiento y para el establecimiento de políticas de emprendimiento en una nación.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo 001617 de 2006, por el cual se modifica el manual de operaciones de Fondo Emprender.
- Acuerdo 0006 y 0007 de 2007. Manual de operaciones Fondo empernder.

## 94. GESTIÓN ESTRATÉGICA DINÁMICA DE GAS NATURAL A LARGO PLAZO MEDIANTE LA SOFT SYSTEM DYNAMICS METHODOLOGY (SSDM): EL CASO PERUANO

### DYNAMIC STRATEGIC MANAGEMENT OF NATURAL GAS IN THE LONG TERM USING SOFT SYSTEM DYNAMICS METHODOLOGY (SSDM): THE PERUVIAN CASE

RICARDO RODRÍGUEZ-ULLOA (PH.D (C))<sup>1</sup>, SILVIO MARTÍNEZ-VICENTE (PH,D)<sup>2</sup>, ISAAC DYNER(PH,D)<sup>3</sup>, JULIO PARDO-FIGUEROA YÁBAR (†) (PH.D)<sup>4</sup>, VLADIMIRO HUAYTÁN JARAMILLO (ENG.)<sup>5</sup>, WALTER CÁRDENAS ARBIETO (PH.D (C))<sup>6</sup>, JOSÉ NAVARRO CAMPOS (ENG.)<sup>7</sup> AND ALDO GONZÁLES ORÉ (PH.D)<sup>8</sup>

#### RESUMEN

El presente artículo muestra cómo es posible gestionar estratégicamente y de manera dinámica e interactiva, la problemática del Gas Natural (GN) en la realidad peruana. Para ello se utilizó la denominada Soft System Dynamics Methodology (SSDM)<sup>9</sup>. El artículo trata de cómo siguiendo los pasos de la SSDM, es posible estudiar una situación compleja como la del GN en el Perú, considerando diversos problemas de tipo duro (factores cuantitativos), como blandos (factores cualitativos) para analizarlos de manera integral y lograr una visión sistémica dinámica, interpretativa, causal y prospectiva de dicha problemática, y a partir de allí elaborar políticas de intervención en dicha problemática, que sean culturalmente factibles y sistémicamente deseables

**PALABRAS CLAVE:** Soft Systems Methodology (SSM), System Dynamics (SD), Soft System Dynamics Methodology (SSDM), Gas Natural, Perú, Energía, Contaminación, Petroquímica, Stakeholders, Weltanschauung, Poder

#### ABSTRACT

The present paper shows how it is possible to manage the Peruvian natural gas problematic situation, in a strategical and dynamic and interactive manner. For doing this, it was used the so called Soft System Dnamics Methodology (SSDM). The paper explains how following the stages of SSDM, it is possible to study a complex situation like de Peruvian natural gas problematic situation, considering diverse hard problems (quantitative factors) as well as soft ones

<sup>1</sup> Presidente, Docente e Investigador Principal del Instituto Andino de Sistemas – IAS, Lima – Perú. Director del Proyecto motivo de este artículo, por parte del Instituto Andino de Sistemas – IAS. Correspondencia sobre el artículo: Email: [ias@iasvirtual.net](mailto:ias@iasvirtual.net)

<sup>2</sup> Investigador Principal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), España; Docente e Investigador Principal Visitante del Instituto Andino de Sistemas – IAS, Lima, Perú

<sup>3</sup> Decano de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia; Docente e Investigador Principal Visitante del Instituto Andino de Sistemas – IAS, Lima, Perú.

<sup>4</sup> Director del Proyecto por parte de OSINERGMIN hasta Julio del 2015 que ocurrió su sentido deceso.

<sup>5</sup> Supervisor en Actividades de Gestión de Proyectos de la Gerencia de Fiscalización del Gas Natural y miembro del Comité Técnico de Trabajo (CTT), OSINERGMIN

<sup>6</sup> Coordinador Técnico de la División de Distribución y Comercial de la Gerencia de Fiscalización del Gas Natural y miembro del Comité Técnico de Trabajo (CTT) de OSINERGMIN

<sup>7</sup> Supervisor de Actividades de Distribución del Gas Natural y miembro del Comité Técnico de Trabajo (CTT), OSINERGMIN.

<sup>8</sup> Supervisor de Actividades de Distribución del Gas Natural y miembro del Comité Técnico de Trabajo (CTT), OSINERGMIN.

<sup>9</sup> La SSDM fue creada por Ricardo Rodríguez-Ulloa, en el Instituto Andino de Sistemas – IAS de Lima, Perú, en el período 1992 – 2000, en un proyecto de investigación por la acción, mediante su concepción, aplicación y perfeccionamiento en diversas situaciones de la realidad peruana y argentina. La SSDM fusiona dos metodologías ampliamente usadas en el mundo sistémico, la llamada Soft Systems Methodology (SSM), creada por el Prof. Peter B. Checkland, en la Universidad de Lancaster, Reino Unido y la System Dynamics (SD), creada por el Prof. Jay W. Forrester del Massachusetts Institute of Technology (MIT), EE.UU.

(qualitative factors) to analyze them in an integral manner and get a systemic, dynamic, interpretive, causal and prospective view of that problematic situation and from there to elaborate intervention policies in that problematic situation, which should be culturally feasible and systemically desirable.

**KEY WORDS:** Soft Systems Methodology (SSM), System Dynamics (SD), Soft System Dynamics Methodology (SSDM), Gas Natural, Perú, Energía, Contaminación, Petroquímica, Stakeholders, Weltanschauung, Poder

## 1. INTRODUCCIÓN

La Energía se constituye en tiempos actuales en uno de los puntos cruciales en el crecimiento económico y el desarrollo de las sociedades. Toda actividad que desarrolla el ser humano implica el uso de algún tipo de energía y en tal sentido, si se quiere estudiar el crecimiento y desarrollo de un país, la piedra angular por la cual resulta imprescindible empezar resulta ser el estudio de su base energética.

Esta ha sido la preocupación del Organismo Supervisor de Inversiones en Energía y Minería de Perú (OSINERGMIN), para lo cual convocó, en su momento, a un concurso de consultoría a fin de desarrollar un modelo prospectivo y dinámico que permita establecer lineamientos de acción en sus actividades de fiscalización del Gas Natural, con un horizonte al 2040.

El Instituto Andino de Sistemas – IAS fue la institución que finalmente resultó elegida para el desarrollo del presente trabajo, y lo que se muestra a continuación es una síntesis muy apretada de esta experiencia.

La realidad peruana es sumamente compleja y la falta de competitividad como país, se debe a diversos aspectos que tienen que ver con “la burocracia gubernamental, las regulaciones laborales restrictivas, la corrupción, la falta de infraestructura, la inestabilidad política y el crimen”<sup>1</sup>.

Precisamente estas variables “blandas” son las que usualmente no son tomadas en cuenta en la gran mayoría de estudios de carácter estratégico, cuando se desarrollan modelos, como es el caso del empleo de la Dinámica de Sistemas (System Dynamics) (SD).

Por el contrario, en el presente estudio, haciendo uso de la Soft System Dynamics Methodology (SSDM), se ha llevado a cabo el estudio de la problemática del Gas Natural (GN), considerando tanto variables cuantitativas (hard variables) como variables cualitativas (soft variables), como se verá más adelante.

## 2. SOFT SYSTEM DYNAMICS METHODOLOGY (SSDM)

La Soft System Dynamics Methodology (SSDM) [1], [2], [3]; fue creada por Ricardo Rodríguez-Ulloa, en el Instituto Andino de Sistemas – IAS, de Lima – Perú, en el período 1992-2000, en un largo proceso de investigación por la acción, desarrollándose casos de carácter académico y de consultoría tanto a nivel nacional como internacional, en dicho período.

La SSDM consta de 10 etapas y es la resultante de la fusión sinérgica de dos metodologías ampliamente usadas en el mundo sistémico: Soft Systems Methodology (SSM) [4], [5], [6], [7], [8], [9], creada por el Prof. Peter B. Checkland, de la Universidad de Lancaster (Reino Unido) y la System Dynamics (SD) [10], [11], creada por el Prof. Jay W. Forrester del MIT (EE.UU).

En tal sentido, incorpora de manera ecléctica, marcos filosóficos, etapas, conceptos, técnicas, métodos y tecnologías de ambas metodologías, pero a su vez incorpora nuevas etapas y formas de usar tanto al SSM como la SD, como resultado de esta fusión.

La Fig. 1 muestra una visión general de dicha etapa.

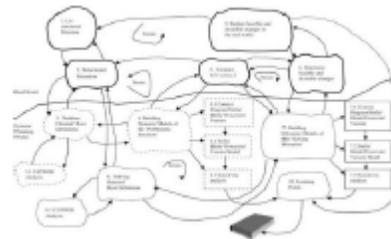


Fig. 1: Soft System Dynamics Methodology (SSDM), (After [1], [2], [3])

## 3. APLICACIÓN DE LA SSDM EN LA PROBLEMÁTICA DEL GN EN EL PERÚ

Para el logro de estos propósitos, la SSDM considera la visión, los intereses, el tipo y nivel de poder y propósitos de los diversos stakeholders (involucrados) de esta

<sup>1</sup> 10 Tomado de “El Perú cae cuatro puestos en el índice global de competitividad”, Portafolio, Diario El Comercio, Miércoles 30 de Setiembre del 2015, Lima.

problemática, logrando identificar a 55, y a partir de allí, siguiendo los procesos internos de esta metodología, se obtiene un modelo conceptual consensado de la problemática del GN, así como las políticas que se han de implantar en la misma.

Tanto la problemática como las políticas de intervención sobre el GN son modeladas, usando la SD, constituyéndose diversos escenarios de análisis, con una mirada en el período 2,000 al 2,040, a fin de encontrar soluciones (políticas) que tengan impactos importantes en la gestión estratégica del GN, pero que a su vez sean culturalmente factibles y sistémicamente deseables de implantar para los diversos stakeholders de dicha problemática.

El modelo busca construir la estructura energética basada en el GN, que se constituya en la plataforma energética de base para el crecimiento económico y desarrollo social y político futuro de la sociedad peruana.

El presente artículo se basa en un trabajo de consultoría que desarrolló el Instituto Andino de Sistemas – IAS para el Organismo Supervisor de las Inversiones en Minería y Energía del Perú (OSINERGMIN).

**3.1 Etapa 1 Situación no estructurada**

En el Perú, la característica usual en lo referente al uso de la energía, ha sido el empleo de la energía basada en hidrocarburos líquidos y sólidos (diésel, nafta y derivados líquidos, carbón) para los sectores industrial, comercial, servicios (incluido el transporte) y residencial, y en la generación de energía eléctrica a partir de centrales hidroeléctricas.

Sin embargo desde inicios de la explotación del Gas Natural en el año 2000, a partir de los hallazgos encontrados en Camisea (Región del Cusco), el uso del GN ha venido incrementándose en los diversos sectores de la economía nacional, especialmente para la generación de energía eléctrica.

Así, uno de los efectos que ha venido ocurriendo en los últimos 10 años ha sido el incremento paulatino del empleo del GN para alimentar centrales térmicas generadoras de energía eléctrica, que ha justificado los niveles de producción de GN Seco de Camisea hasta el presente, proyectándose cada vez más su consumo

como base energética para la generación de energía eléctrica a través de centrales térmicas.

En las Figs. 2 y 3 puede observarse el nivel de generación de energía eléctrica, de acuerdo a las distintas fuentes energéticas, en dos escenarios planteados por el Ministerio de Energía y Minas de Perú<sup>2</sup>. El primer escenario considera un crecimiento de 4.5% del PBI anual, hacia el año 2025 y el segundo escenario considera un crecimiento de 6.5% anual para el mismo período.

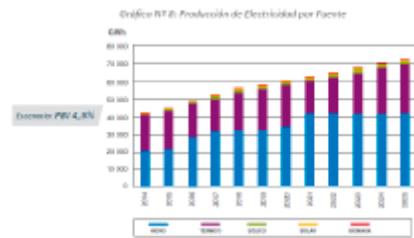


Fig. 2: Escenario Crecimiento PBI 4.5% anual: Fuentes Generadoras de Energía Eléctrica

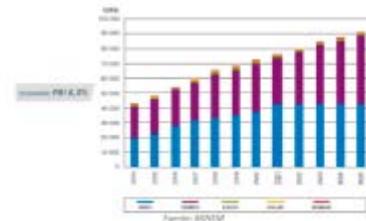


Fig. 3: Escenario Crecimiento PBI 6.5 % anual: Fuentes Generadoras de Energía Eléctrica

Puede notarse en las Figs. 2, 3 y 4, el incremento del uso del GN en la generación eléctrica constituyéndose en el 46% de la fuente total, siendo 52% el valor correspondiente a la generación a través de centrales hidráulicas.



Fig. 4: Incremento exponencial del uso del GN en la GEE: Caso Peruano

Por otro lado la Fig. 5 muestra la red de distribución del GN a lo largo y ancho de Perú en ser implementada en los próximos años.

<sup>2</sup> Plan Energético Nacional 2014-2025 – Resumen Ejecutivo, Ministerio de Energía y Minas, Perú, 2014.

Puede observarse que el proceso de masificación del GN en el Perú resulta en un reto muy importante que transformará completamente la economía nacional y los niveles de calidad de vida de la población peruana.



Fig. 5: Red de distribución del GN en el Perú

### 3.2 Etapa 2 Situación Estructurada

El empleo de la SSDM consideró en el desarrollo de sus etapas 1 (Situación No Estructurada) y 2 (Situación Estructurada), el desarrollo de cuadros pictográficos de la situación pasada, presente y futura del GN, considerando un enfoque fenomenológico, hermenéutico, epistemológico y sistémico [1], [2], [3].

Las Figs. 6, 7 y 8, muestran los cuadros pictográficos obtenidos, en los cuales se identificaron los problemas que existieron, existen y existirán, si no se hace una intervención de carácter estratégico en el curso de acción de la gestión del GN



Fig. 6: Cuadro Pictográfico de la Situación Pasada sobre el GN

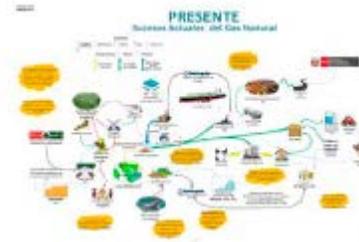


Fig. 7: Cuadro Pictográfico de la Situación Presente sobre el GN

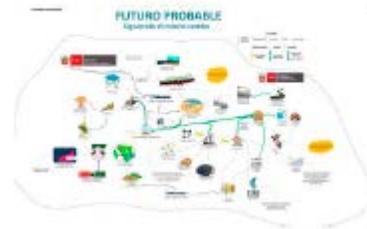


Fig. 8: Cuadro Pictográfico de la Situación Futura sobre el GN (Escenario Probable)

El estudio determinó la existencia de 55 stakeholders, encontrando sus respectivas cosmovisiones (weltanschauungen), el nivel y tipo de poder que ejercen, lo es parte fundamental de la SSDM [1], [2], [3]. Estos 55 stakeholders identificados ejercen influencia en una u otra forma en la problemática del GN.

Entre dichos stakeholders, la SSDM considera a la flora, la fauna, el aire, la tierra, el agua, como stakeholders no humanos, que tienen el poder suficiente para influenciar en el futuro de la gestión del GN. Entre los stakeholders humanos están considerados los inversionistas nacionales y extranjeros, el Ministerio de Economía y Finanzas, el Ministerio de Energía y Minas, las Comunidades Indígenas, el Ministerio de Ambiente, OSINERGMIN, la red de narcotraficantes, la red de terroristas, la red transectorial de corrupción, la Autoridad Nacional del Agua, Sedapal, ONGs nacionales y extranjeras, el Colegio de Ingenieros, entre otros.

La Fig. 9 muestra un mapa mental de los 55 stakeholders considerados.

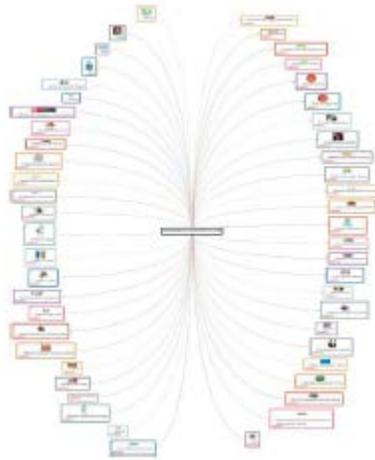


Fig. 9: Mapa mental de los Stakeholders que intervienen en la problemática del GN en el caso Peruano.

3.3 Etapas 3, 4 y 5: Elaboración de Definiciones Básicas, Modelos Conceptuales y Modelo de Tarea Primaria Confirmado y Validado, Desarrollo de Diagrama de Contexto, Diagramas Causales y Modelos de Forrester Orientados al Problema

A partir de de la determinación de los 55 stakeholders y aplicando una variante de la Etapa 3 de la SSDM [1], [2], [3], se desarrollan Definiciones Básicas orientadas al Problema, de cada uno de los stakeholders (Etapa 3 de la SSDM). A partir de ellas, se desarrollan sus respectivos Modelos Conceptuales (Etapa 4 de la SSDM). Es a partir de allí que se obtuvo lo que se conoce como Modelo de Tarea Primaria Validado (MTPV) orientado al problema, que luego fue validado por los miembros del Comité Técnico de Trabajo (CTT) de OSINERGMIN. Ello permitió obtener el Modelo de Tarea Primaria Confirmado y Validado (MTPCyV) orientado al problema [3], [9] y elaborar su respectiva Definición Básica orientada al problema [1], [2], [3] y análisis CATWOE [4], [5], [6], [7].

La Fig. 10 muestra la forma cómo se obtuvo el MTPCyV, a partir de los modelos conceptuales de los stakeholders.



Fig. 10: Obtención del Modelo de Tarea Primaria Confirmado y Validado (MTPCyV) (After [3], [9])

El MTPCyV obtenido se muestra en la Fig. 11. Este modelo consta de 17 grandes actividades que muestran la interrelación sistémica de la situación problemática del GN desde una perspectiva fenomenológica, hermenéutica, epistemológica y sistémica [4], [5], [6], [7], [8], [9].



Fig. 11: Modelo de Tarea Primaria Confirmado y Validado (MTPCyV) orientado al Problema

Es a partir del MTPCyV que se inicia el modelado en Dinámica de Sistemas de cada una de las actividades de dicho modelo.

Así, en la Fig. 12, se explica de manera sucinta como ha sido el proceso de desarrollo del modelado SD.



Fig. 12: Desarrollo de CLDs y FDs de cada uno de los módulos del Diagrama de Contexto basado en el MTPCyV orientado al problema

Se parte del MTPCyV y luego de ello se obtuvo el Diagrama de Contexto del Modelo DS. Un aspecto importante que aporta la SSDM en comparación con la SD es que el MTPCyV nos da el contexto integral de la problemática, es decir, en dicho se modelo conceptual están todas las actividades mínimas y necesarias para tratar todos los aspectos relacionados con la situación problemática pasada, presente y futura alrededor del GN.

Cuando se usa la metodología de SD, el modelo integral se haría en base a la experiencia de los expertos convocados, o stakeholders, pero sin ninguna guía metodológica para cubrir las diversas aristas de la problemática, lo cual puede generar un modelo de DS sesgado hacia un tema en particular, y dejando de lado

otros temas importantes que se deberían haber considerado.

Esto trae como consecuencia, - es importante enfatizarlo -, que los modelos de DS obtenidos desde la SSDM sean muy distintos a los modelos obtenidos usando la metodología de SD.

Algunos ejemplos de los Diagramas Causales desarrollados que luego fueron integrados en un solo modelo causal, se muestran en las Figs. 13, 14, 15, 16 y 17.

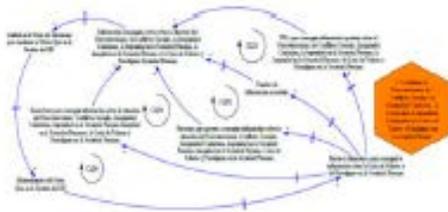


Fig. 13: Módulo 1: Considerar el narcoterrorismo, los conflictos sociales, la inseguridad ciudadana, la corrupción, la impunidad, la inequidad y la crisis de valores y paradigmas en la Sociedad Peruana

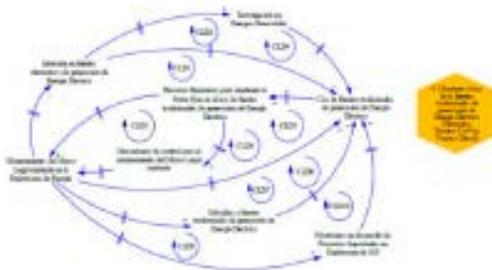


Fig. 14: Módulo 4: Mantener el uso de fuentes tradicionales de generación de energía eléctrica (térmica carbón, térmica diésel)

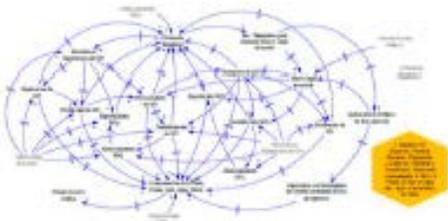


Fig. 15: Módulo 6: Implantar políticas de libre mercado en detrimento de la rigurosidad de los estudios ambientales en los contratos estatales de GN



Fig. 16: Módulo 9: Explotar el GN (Explorar, producir, procesar, transportar, licuefactar, distribuir, transformar, almacenar y exportar) contaminando la Flora, la Fauna, el aire, el agua (ríos, lagos, humedales) y la tierra.

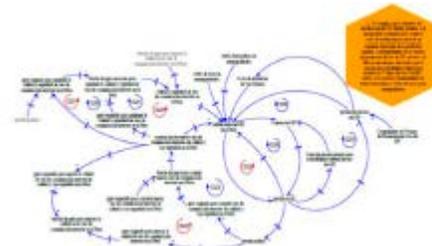


Fig. 17: Módulo 11: No cumplir con los objetivos de masificación del GN, debido primero, a la incapacidad económica para asumir los costos de instalación, por parte de un segmento importante de la población, segundo, al incumplimiento de las normas de promoción del uso del GN, tercero, a la falta de mecanismos adecuados para la creación de la factibilidad cultural, para instaurar la "Cultura del Gas Natural", cuarto, la creación y mantenimiento de trabas burocráticas y cobro de tasas en las municipalidades.

Algunos ejemplos de los Diagramas de Forrester (FDs) elaborados para cada módulo, se muestran en las Figs. 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24.

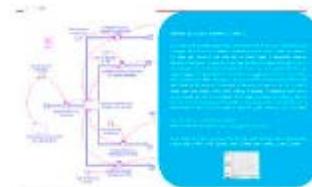


Fig. 18: Modulo 1: Vista parcial que muestra variables que tienen que ver con el narcoterrorismo, corrupción, inseguridad, impunidad, inequidad

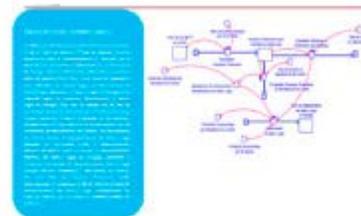


Fig. 19: Módulo 4: Vista parcial que muestra el FD orientado a mantener el uso de las fuentes tradicionales de energía (Carbón y Diésel)

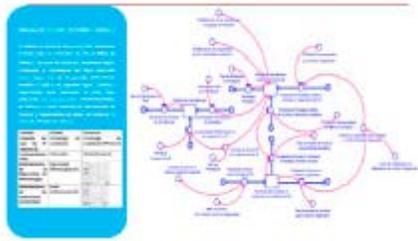


Fig. 20: Módulo 6: Vista parcial que muestra el FD de cómo los criterios de evaluación ambiental se hacen menos rigurosos para atraer las inversiones en la cadena productiva del GN



Fig. 21: Módulo 9: Vista parcial que muestra el FD de la actividad de exploración del GN

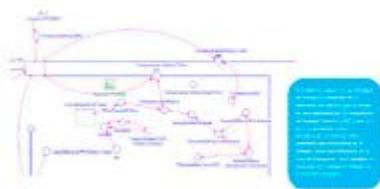


Fig. 22: Módulo 9: Vista parcial que muestra el FD de como el GN Seco se bifurca en tres ramales: el ramal de licuefacción, el ramal de transporte de GN y el ramal que va a la generación de LGN.



Fig. 23: Módulo 9: Vista parcial que muestra el FD del impacto de la cadena de valor del GN en la contaminación ambiental.

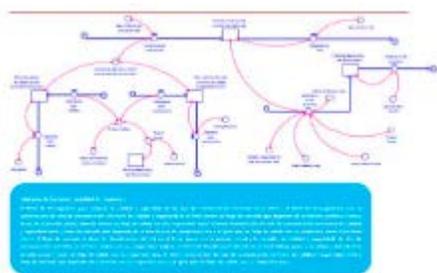


Fig. 24: Módulo 11: Vista parcial que muestra las barreras culturales, burocráticas, de infraestructura y económicas,

existentes para poder llevar a cabo la masificación del GN en la población peruana.

El modelo resultó ser altamente complejo, pero representaba la complejidad existente en la gestión del GN, dentro del contexto de la realidad peruana. La Fig. 25 muestra el modelo DS integrado, en la forma de Diagramas de Forrester (FDs).



Fig. 25: Modelo Integrado, en Diagramas de Forrester (FDs) de la Problemática del GN

Todo lo explicado hasta aquí corresponde a haber desarrollado la SSDM hasta la Etapa 5 que culmina con la validación del MTPCyV.

En las Figs. 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 y 34 se muestran algunos resultados del modelo, para el período 2000 - 2040.



Fig. 26: Relación entre Disminución del Impacto del Marco Legal vigente y las Inversiones en Ecología

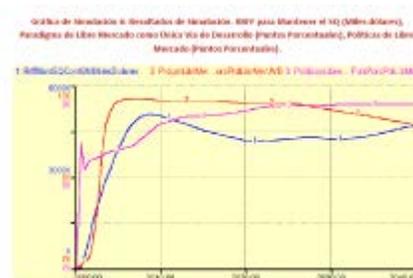


Fig. 27: Relación entre los Recursos Financiero para Mantener el Status Quo, el Paradigma de Libre Mercado y las Políticas de Libre Mercado en el Sector del GN



Fig. 28: Stock de Productos Petroquímicos Producidos (Fertilizantes, Explosivos), Almacenados y Exportados 2000-2040



Fig. 32: Flujos transportando GN Seco generados por el Modelo (azul) vs Proyecto (rojo) para el período 2000-2040 (TPC/año)

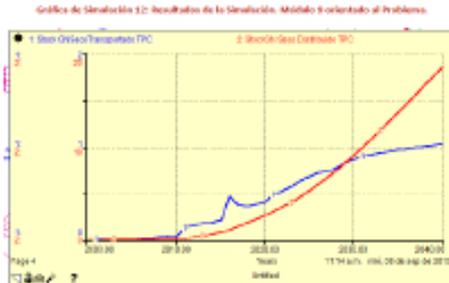


Fig. 29: Stock de GN Seco Transportado y Stock de GN Seco Distribuido en el período 2000.2040 (en TPC)



Fig. 33:Flujos de distribuyendo, transportando GN Seco (TPC/año) y Stocks de GN Seco Transportado y Distribuido (TPC) en el período 2000-2040

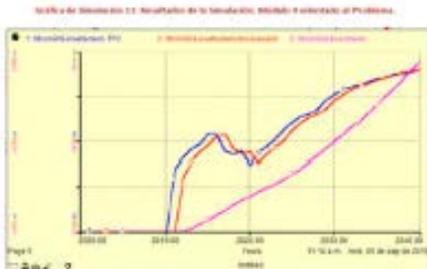


Fig. 30: Stock de GN Licuefactado, Almacenado y Exportado en el período 2000-2040 (en TPC)

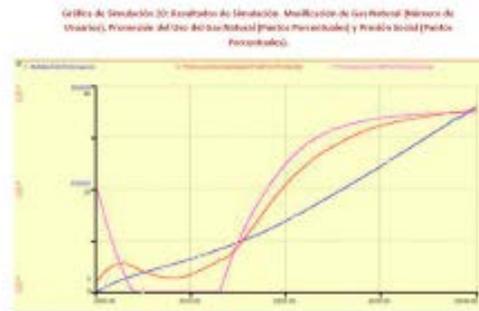


Fig. 34: Masificación del GN Seco (No. de usuarios), Promoción del GN Seco (Ptos Porcentuales) y Presión Social (Puntos Porcentuales, período 2000-2040)



Fig. 31: Flujos convirtiendo GN Seco a GNL, almacenando GNL, exportando en el período 2000-2040 (en TPC/año)

### 3.4 Etapas 6, 7, 8, 9 y 10: Búsqueda de Cambios Culturalmente Factibles y Sistémicamente Deseables, Simulación de Políticas de Cambio Culturalmente Factibles y Sistémicamente Deseables, Plan de Acción y Puntos de Aprendizaje

Con el Modelo DS integrado y calibrado, se analizó la situación problemática del GN con miras a determinar qué políticas se podrían implantar en el futuro (Etapa 6 de la SSDM).

Surgen de esa manera la posibilidad de desarrollar 4 posibles escenarios de solución, que son los siguientes

(expresados como cuadros pictográficos) (Figs. 35, 36, 37 y 38):



Fig. 35: Escenario 1: Masificación + exportación



Fig. 36: Escenario 2: Masificación + exportación + incremento de la energía eléctrica + reemplazo de fuentes tradicionales de energía



Fig. 37: Escenario 3: Masificación + exportación + incremento de la energía eléctrica + reemplazo de fuentes tradicionales de energía + petroquímica + empleo de energías renovables



Fig. 38: Escenario 4: Masificación + exportación + incremento de la energía eléctrica + reemplazo de fuentes tradicionales de energía + petroquímica + empleo de energías renovables + empleo del GN como base energética en el Plan Nacional de Diversificación Industrial (PNDI).

De dichos escenarios, se muestran a continuación los dos primeros, tanto a manera de CLDs como de FDs

(ver Figs. 39 y 40). (Esta parte corresponde a la etapa 7 de la SSDM)

Escenario 1: Masificación GN Seco + Exportación (Nafta, Diésel)

El Escenario 1 considera proseguir con las exportaciones (sub-actividad del Módulo 9 del MTPCyV) y "cumplir" con las "metas de masificación" perteneciente al Modulo 11 del MTPCyV, es decir se mejoran estas actividades, pero se sigue manteniendo la problemática en las demás actividades del MTPCyV

Las Fig. 39 y 40 muestran detalles del modelamiento del Escenario 1.

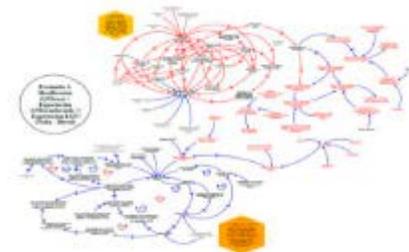


Fig. 39: CLD del Escenario 1

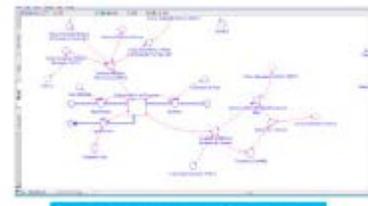


Fig. 40: Vista parcial del FD del Escenario 1

Los resultados que se obtienen del Escenario 1 se muestran a continuación, en las Figs. 41, 42 y 43.

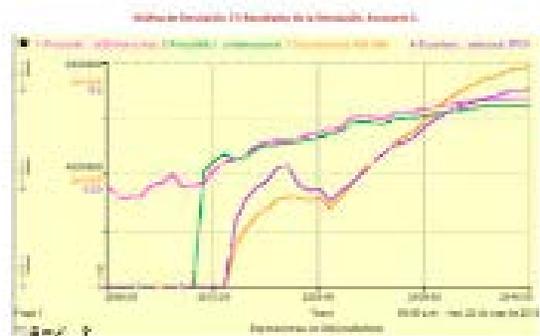


Fig. 41: Precios internacionales Henry & Hub (1) y el generado por el Modelo (2), Exportaciones del GNL (en Miles de US\$/año) (3) y Exportaciones de GNL (en TPC/año) para el período 2000-2040

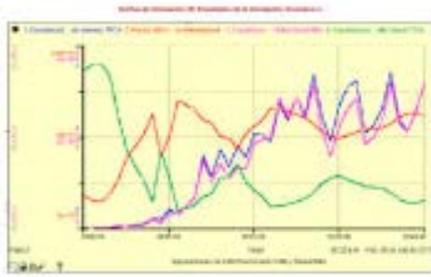


Fig. 42: Flujo exportando LGN Fraccionado (TPC/año) (1), Precio del LGN Fraccionado (M\$/TPC) (2), Exportación de Nafta y Diésel (M\$/año), Exportaciones de Nafta y Diésel (TPC/año) en el periodo 2000-2040,

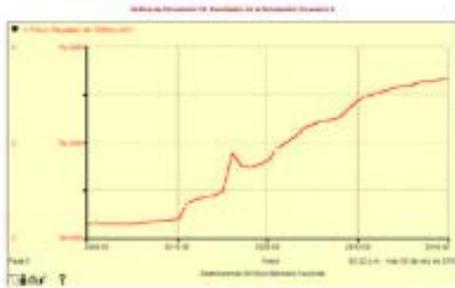


Fig. 43: Precio regulado del GN Seco Marcado Nacional en el periodo 2000-2040

Escenario 2: Masificación GN Seco + Exportación (Nafta y Diésel) + Incremento en GEE + Reemplazo de FFT de GEE

El Escenario 2 abarca el Escenario 1 más el Incremento en la generación de energía eléctrica (GEE) más el reemplazo de fuentes tradicionales (FFTT) de generación eléctrica (GEE).

El incremento en la GEE se hace, en este escenario, mediante el uso del GN Seco como combustible de las Centrales Térmicas para la GEE. Esta práctica es más barata y menos contaminante que las FFTT de GEE, lo que justifica esta política y la disminución del empleo de FFTT de GEE.

Las Figs. 44 y 45 muestran detalles del modelamiento del Escenario 2.

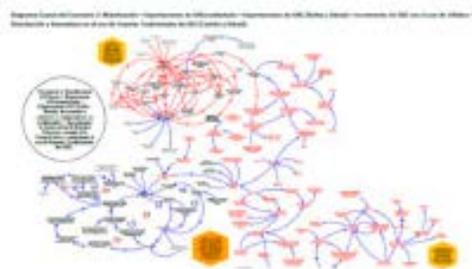


Fig. 44: CLD del Escenario 2

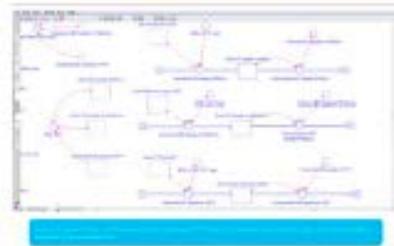


Fig. 45: Vista parcial del FD del Escenario 2

Los resultados que se obtienen del Escenario 2 se muestran a continuación, en las Figs. 46, 47 y 48.

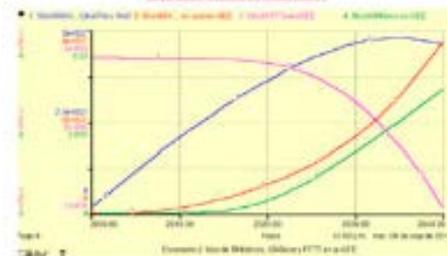


Fig. 46: Stock de Rec. Hídricos Perú (Hm3), Stock de Rec. Hídricos usando para la GEE (Hm3), Stock de FFTT para la GEE y Stock de GN Seco usado en GEE

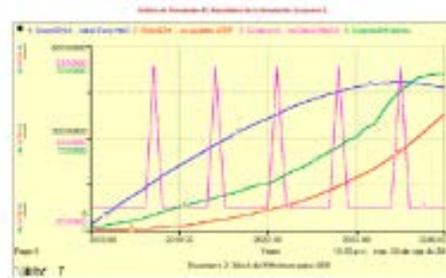


Fig. 47: Stock de Rec. Hídricos Perú Global (Hm3) (1), Stock de Rec. Hídricos usados en GEE (Hm3) (2), flujo generando Rec. Hídricos global Perú considerando Efecto Fenómeno del Niño cada 7 años (Hm3/año) (3), flujo usando Rec. Hídricos en GEE (Hm3/año) (4)

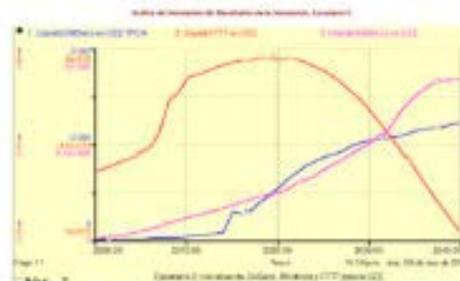


Fig. 48: Flujos usando GN Seco en GEE (TPC/año) (1), usando FFTT en GEE (TPC/año) (2), usando Rec. Hídricos en GEE (Hm3/año) en el periodo 2000-2040

### Políticas de Estado

Como puede verse, en ambos escenarios se logra mejorar la situación, mediante la implantación de políticas tanto a nivel de masificación del GN, como en las exportaciones así como el incremento en la generación de energía eléctrica, mediante el uso del GN Seco.

En lo referente a la masificación, una política es el subsidio del precio del GN seco a fin de que esté por debajo del GLP, aunado a un proceso de promoción del uso del GN en la población, brindando financiamiento para la instalación de las conexiones domiciliarias y la aplicación de normas de seguridad en su uso.

También se plantea el incremento, mejoramiento y mantenimiento de las vías de comunicación al interior de Perú, con la finalidad de poder viabilizar la distribución virtual del GN Seco.

En lo referente al uso del GN Seco en las Centrales Térmicas, ello está generando el incremento en la generación eléctrica, con lo cual será posible satisfacer la demanda de energía eléctrica en los próximos años.

Sin embargo es importante acotar que el consumo de la energía eléctrica está en relación directa con los precios.

En consecuencia, como Política de Estado, resulta de mucha importancia mantener los precios a un nivel aceptable a fin de que el consumo de la energía eléctrica no disminuya.

El modelo también recomienda seguir cumpliendo con los niveles de exportación.

Estas y otras políticas adicionales se han considerado en el estudio realizado y que finalmente se traducen en un plan de acción a llevar a cabo en un tiempo determinado.

### 4. CONCLUSIONES

La aplicación de la SSDM en el estudio de la problemática del GN ha permitido reconocer los diversos aspectos y variables cualitativas y cuantitativas a tener en cuenta en la compleja problemática del GN.

También ha permitido realizar un modelamiento de DS basado en un Modelo de Tarea Primaria Confirmado y Validado (MTPCyV) orientado al problema, que ha

generado un modelo distinto al que usualmente se obtendría usando la Metodología de Dinámica de Sistemas.

Los resultados generados por el modelo obtenido han resultado y serán de gran utilidad en el proceso de toma de decisiones y en el aprendizaje en la gestión estratégica del GN para las instituciones que usen este modelo, especialmente para OSINERGMIN, el Ministerio de Energía y Minas, el Ministerio del Ambiente, Autoridad Nacional del Agua, el COES, entre las diversas instituciones del Estado Peruano.

### 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos y cada uno de los miembros del Comité Técnico de Trabajo (CTT) de OSINERGMIN, que se conformó al inicio del presente proyecto, pues a través de, primero un proceso de capacitación en pensamiento sistémico, y luego a través de una participación interactiva permanente con los consultores del Instituto Andino de Sistemas – IAS, a lo largo del proyecto, lo cual permitió el desarrollo, calibramiento y validación tanto de los modelos conceptuales como de los modelos de Forrester desarrollados durante la aplicación de la SSDM a lo largo de 11 meses de trabajo intenso, queremos aquí también rememorar la muy pertinente y profesional participación del Ing. Julio Pardo-Figueroa Yábar, Director del Proyecto, por parte de OSINERGMIN y miembro del CTT, lamentablemente fallecido en el mes de Julio pasado, quién mostró altísimo interés por la culminación exitosa del presente estudio.

Igualmente va nuestro agradecimiento al equipo consultor del Instituto Andino de Sistemas – IAS de Lima - Perú, en la persona de Isaac Dyer (Colombia) y Silvio Martínez-Vicente (España), ambos consultores internacionales del IAS, quienes con su experiencia y amplios conocimientos en SD aportaron opiniones y sugerencias muy valiosas para la concepción del modelo desarrollado; a los asistentes de investigación sistémica Hans Villavicencio Cárdenas y Angélica Ramos Zorrilla, quienes prestaron un apoyo muy valioso e importante a lo largo de las diversas etapas del desarrollo del modelo, en un proyecto que estuvo bajo la dirección general de Ricardo Rodríguez-Ulloa, Presidente e Investigador Principal del IAS y autor de la SSDM.

Finalmente nuestro agradecimiento a OSINERGMIN y sus autoridades, por permitirnos aplicar la SSDM en un

contexto de alta complejidad, como el encontrado en el estudio del Gas Natural.

## 6 REFERENCIAS

- [1] Rodríguez-Ulloa RA (1999) Soft system dynamics methodology—SSDM: A tool for social systems analysis and design. Paper presented at the 43rd international meeting of the International Society for the Systems Sciences, USA
- [2] Rodríguez-Ulloa RA (2002) Soft system dynamics methodology (SSDM): the fusion of soft systems methodology (SSM) and system dynamics (SD). Paper presented at the third international congress of electromechanics and systems engineering, Instituto Politécnico Nacional, México DF
- [3] Rodríguez-Ulloa, R.A, Montbrun, A.; Martínez-Viente, S.: (2011). Soft system dynamics methodology in Action: The problem of citizen insecurity in an Argentinean Province, *Systemic Practice and Action Research (SPAR)*, (2011). 24: 275-323.
- [4] Checkland PB (1981) *Systems thinking, systems practice*. Wiley, Chichester
- [5] Checkland PB, Scholes J (1990) *Soft systems methodology in action*. Wiley, Chichester
- [6] Checkland PB (1999) *Systems thinking systems practice (includes a 30-year retrospective)*. Wiley, Chichester
- [7] Checkland PB, Poulter J (2006) *Learning for action: a short definitive account of soft systems methodology and its use for practitioners, teachers and students*. Wiley, Chichester
- [8] Rodríguez-Ulloa RA (1994) *La Sistémica, los sistemas blandos y los sistemas de información*, Universidad del Pacífico, Lima
- [9] Wilson B (2000) *Soft systems methodology—SSM*. Wiley, Chichester
- [10] Forrester J.W (1965) *Industrial dynamics*. MIT Press, Cambridge
- [11] Sterman J (2000) *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw Hill, New York

## 95. TALLER DE SENSIBILIZACION DE CAMBIO CLIMATICO

**ING. EDUARDO PEDRO FRACASSI**

Instituto Tecnológico de Buenos Aires - ITBA  
Madero 399, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.  
fracassi@itba.edu.ar

### RESUMEN:

Taller de Sensibilización de Cambio Climático / World Climate Exercise

### METAS:

1. Realizar el [World Climate Exercise](#) - WCE para proveer una experiencia en la gestación de una solución internacional para estabilizar los niveles de dióxido de carbono.
2. Mejorar los modelos mentales de los participantes del World Climate Exercise acerca de los niveles de CO2 y del sistema climático. En especial, la "dinámica de la bañera".
3. Difundir en los participantes del World Climate Exercise tres ideas fundamentales:
  - a. - La estabilización del aumento de la temperatura alrededor de los 2 grados requiere una acción temprana y reducciones superiores al 50 %.
  - b. - Se requiere una participación global para mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 2 grados. Todas las regiones deben colaborar y contribuir en esta crisis, reduciendo sus propias emisiones, mediante una gestión de sus bosques o ambas.
  - c. - Una rápida reducción de las emisiones en los países en desarrollo constituyen una intervención de alto impacto. La cooperación de los países desarrollados para la reducción de emisiones en los países en desarrollo podría tener un impacto significativo para alcanzar la meta de 2 grados centígrados.

**PALABRAS CLAVES:** world climate exercise, calentamiento global, cambio climático

### RATIONALE:

- El [IPCC](#) ha confirmado que "El calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios."
- El equipo del Prof. John Sterman de Sloan MIT y de ClimateInteractive.org han desarrollado el World Climate Exercise como una eficaz herramienta de concientización.
- 15 colaboradores del Capítulo Latinoamericano de DS convocados por su Pte. Gloria Pérez Salazar, han participado activamente en la traducción del material del WCE.
- El conocido paper de Donella Meadows "[12 lugares para intervenir en un sistema](#)" considera que la concientización para el cambio de los paradigmas

compartidos es una de las palancas con mayor impacto posible global.

### REQUERIMIENTO DE TIEMPOS Y RECURSOS

- Tipo ponencia: paralela / workshop - taller interactivo.
- Tiempo requerido: 4 hs.
- Lugar amplio, con mesas y sillas movibles según la cantidad de personas.
- 10 a 35 participantes, acceso libre y voluntario.

### SITUACIÓN ACTUAL:

- La necesidad urgente de concientizar para la inmediata mitigación del cambio climático.

### PRÓXIMOS PASOS:

- Confirmar la realización del Taller de Sensibilización de Cambio Climático / World Climate Exercise.

El **Ingeniero Eduardo Fracassi** co-lidera en Instituto Tecnológico de Buenos Aires – ITBA ([www.itba.edu.ar](http://www.itba.edu.ar)) la iniciativa de Sensibilización de Cambio Climático. Ha facilitado el World Climate Exercise en 12 oportunidades durante 2013 y 2014 en universidades, cámaras empresariales y colegios secundarios. Es consultor en RRHH para empresas, y profesor de Pensamiento Sistémico en UCES ([www.uces.edu.ar](http://www.uces.edu.ar))

## 96. MODELAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL HUMEDAL CÓRDOBA.

**FABIO VASQUEZ, JHONNY CASTAÑEDA Y JOHAN MANUEL REDONDO**

Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales. Bogotá D.C. - Colombia  
frvasquez3@misena.edu.co, jhonny\_99f@hotmail.com, galileonp@hotmail.com

### RESUMEN

El Humedal Córdoba es uno de los ecosistemas más importantes de la cuenca del río salitre y hace parte de la estructura ecológica principal (EEP) de la ciudad de Bogotá, este ecosistema ha sido afectado por vertimientos de aguas residuales en sus canales pluviales aferentes, aumentando los niveles de contaminación en el agua. En este documento realizamos una primera aproximación de un modelo de la calidad del agua para el Humedal Córdoba utilizando Dinámica de Sistemas, para este modelo planteamos una serie de ecuaciones diferenciales con las que se realizaron simulaciones en el software Vensim PLE 6.3, con la finalidad de representar la variación en la concentración de un contaminante no conservativo en el espejo de agua del Humedal.

**PALABRAS CLAVE:** Humedal, Dilución, Calidad del Agua, Curso de Agua, Dinámica de Sistemas, Aguas residuales.

### 1. INTRODUCCIÓN

Se han desarrollado numerosos modelos matemáticos de la calidad del agua, a través de los cuales se estudia el comportamiento de contaminantes a lo largo de una corriente natural (García, 2008). Tradicionalmente, estos modelos se han basado en el principio de conservación de materia y energía, representando la variación en la concentración de un contaminante que se encuentra disuelto en un volumen con respecto al tiempo (Moneris, 2001). No se han encontrado referencias de modelos matemáticos construidos con Dinámica de Sistemas.

En este documento se presenta el modelamiento de humedales en la manera en la que se han modelado lagos completamente mezclados, porque, según la convención Ramsar (2006), los humedales son una variedad de hábitats entre los que se incluyó los lagos. El humedal que representaremos es el Humedal Córdoba, ubicado al noroccidente de Bogotá en la Localidad, once, Suba. Con un Área total de 40.5 hectáreas, el humedal ha sido particionado en 3 sectores, para responder a las demandas urbanísticas y viales por parte de la población capitalina (DAMA, 2006).

La problemática asociada al Humedal Córdoba es provocada por la presencia de conexiones erradas de

aguas residuales en los canales pluviales aferentes (Canal Molinos y Canal Córdoba) originando importantes niveles de contaminación afectando la calidad del agua y limitando la cantidad de agua que ingresa. El Canal Córdoba ingresa al sector 1 y recorre toda la margen izquierda del humedal hasta ser conectado con el Canal Molinos en el sector 3. Un porcentaje de las aguas del Canal Molinos junto a un curso de agua natural alimentan hídricamente el sector 2 (donde se encuentra el espejo de agua), las aguas del Canal Molinos contienen un alto grado de materia orgánica, la cual genera que existan áreas con poco oxígeno disuelto, afectando la capacidad de autodepuración del Sistema. Además, sus aguas no son suficientes para regular hídricamente al humedal, pero el curso de agua natural suple una parte del déficit hídrico y mejora la calidad del agua (IDEA, 2007).

Para lograr definir los lineamientos para la intervención del Humedal Córdoba, se interpuso una acción popular (No. 00-0254 de 2001) por parte de la junta de acción Comunal del barrio Niza Sur en contra de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB EPS), en relación a la construcción de obras en la zona de manejo y preservación ambiental del Humedal Córdoba que no fueron concertadas con la comunidad. La acción popular fue resuelta por el Tribunal Administrativo de Cundinamarca, por la sentencia AP-198 del 20 de septiembre de 2001, la cual ordeno el no inicio de las

obras hasta que no se tengan todos los conceptos técnicos necesarios, para que la intervención que se realice proteja el equilibrio ecológico y se garantice su conservación. Además, se establecieron mecanismos de concertación que tiene en cuenta a la junta de acción comunal y la EAAB EPS, propiciando espacios para el debate, donde ambas partes pueden concertar como se desarrollarían las obras de intervención (Acta Quinta, 2006).

El Humedal Córdoba es uno de los ecosistemas más importantes de la cuenca del río salitre y hace parte de la estructura ecológica principal (EEP) de la ciudad de Bogotá (IDEA, 2007). Fue declarado área natural protegida del distrito capital y la sabana de Bogotá mediante el Decreto 190 de 2004 (DAMA, 2006). Este ecosistema es de vital importancia por que regula el ciclo hidrológico, almacenando el agua en épocas de lluvia, previniendo inundaciones y liberándola lentamente en épocas secas, contribuyendo a la carga y descarga de acuíferos. También favorece la conservación de la biodiversidad y mejora la calidad del aire en la Ciudad de Bogotá (Ramsar, 2006).

El objetivo de este documento es presentar una primera aproximación en la elaboración de un modelo de calidad de agua para el Humedal Córdoba utilizando Dinámica de Sistemas, con el fin de representar el comportamiento de los contaminantes no conservativos, que son aquellas sustancias que por procesos naturales de autodepuración son susceptibles a que su concentración se reduzca con el tiempo, durante este proceso los compuestos orgánicos son diluidos por el espejo de agua del Humedal (Montoro, 2009).

Esta investigación inicia con una revisión bibliográfica, consultando las bases de datos scopus y sciencedirect, sobre humedales y modelación de la calidad del agua, donde recopilamos artículos científicos los cuales son la base de nuestra investigación. Además, se recopiló información bibliográfica en el archivo de la secretaría distrital de ambiente, consultando los planes de manejo ambiental del Humedal Córdoba de los años de 1998 y 2008. Se utilizó esta información para la contextualización del problema y posteriormente se realizó un diagrama de niveles y flujos basado en el modelamiento de calidad del agua, luego diseñamos un diagrama causal en el que se representa un bucle de realimentación negativa, estos dos diagramas se realizaron mediante la utilización del software Vensim PLE 6.3, por último se realizaron simulaciones de la

variación en la concentración de DBO, DQO y Fósforo Total.

## 2. EL MODELO

La descripción del modelo la haremos a partir de la Figura (1) la cual describe cómo se comporta el Sistema. El humedal Córdoba está particionado en 3 sectores, el primer sector ubicado en la parte alta del humedal, tiene como entrada el Canal Córdoba que presenta vertimientos de aguas residuales, este sale y recorre la margen izquierda, el sector 2 tiene como entradas un curso de agua natural y un porcentaje del Canal Molinos que también presenta vertimientos de aguas residuales, los cuales salen y se unen con el Canal Córdoba convirtiéndose en la entrada del sector 3. Para el modelamiento de la calidad del agua se tomara el sector 2 del humedal porque en él se encuentra el espejo de agua.

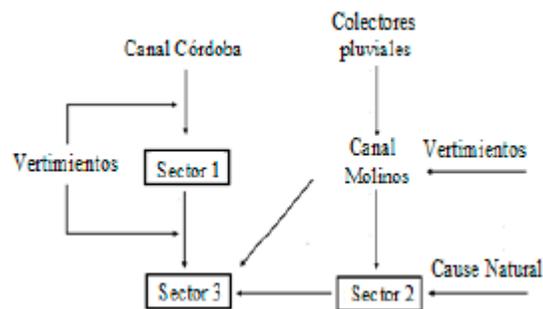


Figura (1). Diagrama de flujo del Humedal Córdoba

### 2.1 Diagrama causal

Para la elaboración y comprensión del modelo, encontramos un bucle de realimentación negativa, representado en la Figura (2), en el que vemos como el aumento de la concentración de un contaminante, genera el incremento de la capacidad de dilución del sistema. Si la capacidad de dilución aumenta hay una reducción en la concentración del contaminante, esto es causado por la incorporación del curso de agua natural y a la capacidad de autodepuración del medio receptor.



Figura (2). Diagrama causal de la dilución de la concentración de un contaminante.

### 2.2 Diagrama de Niveles y Flujos

El diagrama de niveles y flujos se presenta en la Figura (3), en la que solo se encuentra como variable de estado la concentración del contaminante que será considerado.

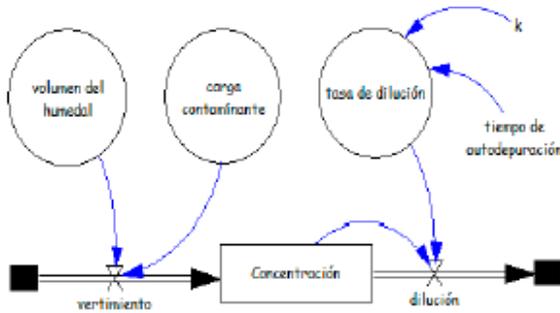


Figura (3). Diagrama de niveles y flujos de la variación en la concentración de un contaminante en el Humedal Córdoba.

Mediante la elaboración del Diagrama de niveles y flujos, se obtuvo una ecuación diferencial que representa un modelo matemático, que nos permite conocer los escenarios de cómo varía la concentración de un contaminante en el Humedal Córdoba. Las ecuaciones se presentan a continuación:

**Ecuación de Nivel.**

$$\frac{dC}{dt} = G - F$$

La Ecuación de nivel hace referencia al cambio en la concentración respecto al tiempo que es igual a la diferencia de lo que se vierte de entrada y lo que se diluye de salida.

**Ecuación de Flujo.**

$$G = \frac{W}{V}$$

(G) es el vertimiento que se define como el cociente entre la carga contaminante y el volumen del espejo de agua del Humedal Córdoba.

**Ecuaciones Auxiliares.**

$$B = \frac{1}{t_0} + k$$

(B) es la tasa de dilución que se define como el cociente entre uno y un tiempo cero, más una constante (k) que es diferente de cero.

$$t_0 = \frac{V}{QR + QV}$$

(t<sub>0</sub>) es el tiempo cero que se define como el cociente entre el volumen del espejo de agua del Humedal Córdoba y la suma de los caudales del Canal Molinos y el curso de agua natural.

### 3. SIMULACIONES

Para la realización de las simulaciones usamos el software especializado Vensim PLE 6.3. El método numérico utilizado para la integración fue el método de Runge Kutta 4 automático, con tamaño de paso de 0.0625. La unidad de tiempo empleada fue hora. Con el fin de desarrollar cada una de las simulaciones se tomó el modelo general figura (3) y la información contenida en las tablas (1) y (2), para poder sustituir los datos en las ecuaciones del modelo general, pero teniendo en cuenta que la información es específica para cada uno de los contaminantes no conservativos que son objeto de estudio de la investigación.

La información empleada para alimentar el modelo se presenta a continuación

#### Humedal Córdoba

Tabla (1). Condiciones iniciales del Humedal Córdoba

Parámetro	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Fosforo total	Volumen (Litros)
Humedal Córdoba.	15	110	4	3971x10 <sup>9</sup>

La información se obtuvo del plan de manejo ambiental del Humedal Córdoba (Hidromecánicas LTDA, 1998).

#### Canales Pluviales Aferentes

Tabla (2). Condiciones iniciales de los Canales pluviales aferentes.

Parámetro	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Fosforo Total	Caudal (l/s)
Canal Molinos	2.4	22,8	1.51	9.2
Curso de Agua Natural	2	11	0.58	3

La información que se obtuvo de los Canales pluviales aferentes fueron del estudio de la calidad del agua del río Bogotá (CAR, 2008) y del estudio de la calidad del recurso hídrico de Bogotá (Rodríguez, 2009). Toda la información que se utilizó en el modelo está sujeta a cambios o actualización.

### Simulación de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

En la Figura (4), Se muestra la simulación realizada del comportamiento en la concentración de DBO, por vertimiento de aguas residuales en el Humedal Córdoba provocando que la cantidad de oxígeno disponible para degradar Materia Orgánica disminuya. Si tenemos en cuenta las condiciones iniciales se puede observar que al transcurrir 10-15 Horas la concentración de DBO decae progresivamente a medida que se diluye en el espejo de agua.

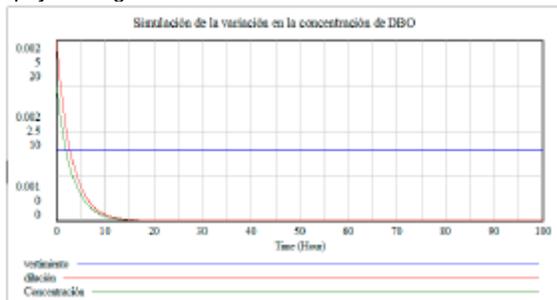


Figura (4). Simulación de la variación en la concentración de DBO

Los vertimientos y la dilución cambian en el tiempo dependiendo de la variación en la tasa de dilución, si está disminuyendo, el tiempo que tarda el sistema en diluir la concentración de DBO es mayor.

### Simulación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la Figura (5), se muestra la simulación realizada de la variación en la concentración de DQO, por vertimiento de aguas residuales en el Humedal Córdoba, refleja una disminución en la cantidad de oxígeno disponible para la oxidación química de materiales orgánicos (Camacho, 2001). Si tenemos en cuenta las condiciones iniciales se puede apreciar que la concentración de DQO es diluida en 16-17 horas en el espejo de agua, representando un decaimiento constante, paralelo a la variable de dilución hasta que esta se mantiene estable.

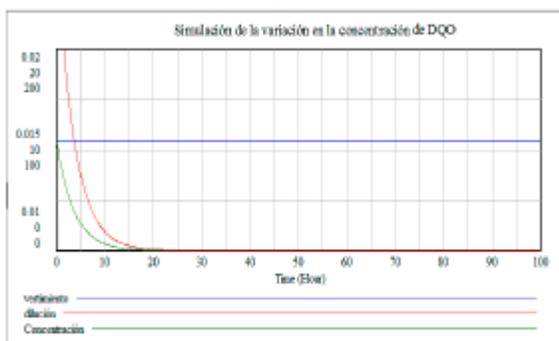


Figura (5). Simulación de la variación en la concentración de DQO

Mediante la simulación se demuestra que el Humedal Córdoba se encuentra en capacidad de autodepurar sus aguas, pues el sistema presenta una dilución efectiva en la concentración del contaminante, esto puede ser efecto de la incorporación del curso de agua natural, ya que sus parámetros fisicoquímicos son normales y logra restablecer las condiciones hídricas del Humedal Córdoba (Guarnizo, 2003).

### Simulación de Fósforo Total

En la Figura (6), Se muestra la Simulación realizada del comportamiento en la concentración de Fósforo Total, Si tenemos en cuenta las condiciones iniciales se puede observar que al transcurrir 20-30 Horas, la concentración de Fosforo Total disminuye lo suficiente para ser depurado por el sistema.

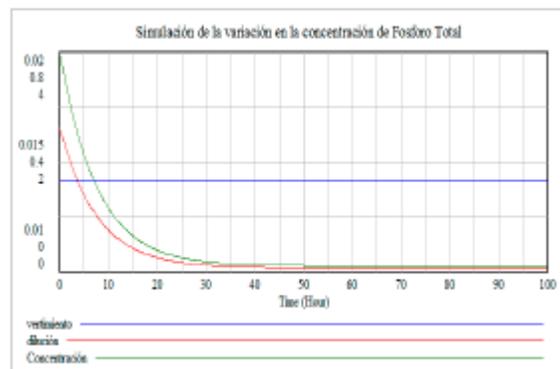


Figura (6). Simulación de la variación en la concentración de Fosforo Total

Los compuestos de Fósforo son importantes nutrientes para el crecimiento de plantas y algas en el humedal, pero el aumento de la concentración de Fósforo Total puede provocar la aceleración del proceso de eutrofización en el espejo de agua (Aguilar, 2009).

## 4. CONCLUSIONES

El modelo que construimos es una primera aproximación para estudiar la calidad del agua en el Humedal Córdoba, nos permitió realizar simulaciones de la variación en la concentración de un contaminante no conservativo con respecto al tiempo. Encontramos que si se realizan vertimientos de aguas residuales en un humedal, la capacidad de dilución reduce la concentración del contaminante, aumentando la capacidad de autodepuración del Sistema.

Concluimos que mediante la incorporación del curso de agua natural, se presenta un mejoramiento en la calidad del agua del Humedal Córdoba, porque este aumenta la

capacidad de dilución del sistema y disminuye el tiempo de autodepuración.

## 5. REFERENCIAS

- [1] García, Y., Obregón. (2008). Modelación de la Calidad del Agua en Corrientes Naturales Mediante Sistemas no lineales acoplados. Pontificia Universidad Javeriana, No. 92., Pág 13
- [2] Moneris, Y., Doménech. (2001). Modelación calidad del agua. Universidad Politécnica de Valencia, No. 216., Pág. 149-151.
- [3] DAMA, (2006). Departamento Administrativo de Medio Ambiente. Política de humedales del Distrito Capital. Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. No. 120., Pág. 106.
- [4] IDEA, (2007). Instituto de Estudios Ambientales. Plan de Manejo del Humedal de Córdoba. Universidad Nacional de Colombia No. 294., Pág. 60-75
- [5] Acta Quinta, (2006). Acta De La Quinta Reunión Del Proceso De Concertación Por Medio del cual se definen los lineamientos para la rehabilitación integral y preservación del Humedal de Córdoba. Junta De Acción Comunal Barrio Niza Sur y EAAB ESP.
- [6] Ramsar, (2006). Manual de la convención de Ramsar, 4ª.edicion, No. 124., Pág. 9.
- [7] Montoro, (2009). El Agua: estudios interdisciplinarios. Pag 140
- [8] Hidromecánicas LTDA, (1998). Plan de Manejo Humedal de Córdoba, Tomo 5- Anexo N°3. Pág. 16- 21
- [9] CAR, (2008). Estudio de la Calidad del Agua del Río Bogotá, Corporación Autónoma de Cundinamarca. No. 157., Pág. 28
- [10] Rodríguez, (2009). Calidad del Recurso Hídrico de Bogotá, Universidad de los Andes. No. 266., Pág. 99-109
- [11] Camacho, (2001). Eliminación Biológica de Fósforo en Aguas Residuales, Universidad de Castilla-La Mancha. No. 355., Pág. 9
- [12] Guarnizo, Y., Calvachiz. (2003). Los Humedales de Bogotá y la Sabana, Acueducto de Bogotá y Conservación Internacional-Colombia. No. 264., Pág. 56
- [13] Aguilar, Y., cruz. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga organica, Revista internacional de contaminación ambiental. No. 18., Pág.



## 97. RISK ANALYSIS OF FRUIT SECTOR IN GUADALAJARA DE BUGA MIDDLE RURAL AREA, DUE TO TRANSPORT BY ROAD DETERIORATION

FARLEY ALONSO NARANJO OSSA, DIEGO LEON PEÑA OROZCO AND CRISTIAN FELIPE TORRES  
LADINO

Universidad del valle, Guadalajara de Buga, valle del cauca. Colombia  
farley.naranjo@correounivalle.edu.co, diego.l.pena@correounivalle.edu.co, crisfeto@hotmail.com

### ABSTRACT

This paper presents the simulation in terms of ending profit provided by a fruit supply chain focused on the case of the village of Monterrey located in the middle rural area of Buga city, considering sales variability and damage of product in the transportation, among others. The causal diagram and mathematical relationships is presented by Forrester diagram. Finally it is simulated using the program Vensim and behavior of proxies is shown.

**KEYWORDS:** profit, fruit supply chain, damage, risk, transportation.

### I. INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministro (CS) o abastecimiento son descritas por Hasbleidy y Sanchez (2014) como los recursos interconectados y las actividades necesarias para crear y entregar productos y servicios a los clientes. En la industria alimentaria las CS son sistemas complejos y dinámicos que involucran a muchos participantes, y difieren de la de otras cadenas de suministro, debido a la importancia que tienen factores como la variabilidad del clima; la calidad de los productos; la seguridad alimentaria; el manejo de productos perecederos y los ciclos de vida, la variabilidad de la demanda y los precios Hasbleidy y Sanchez (2014).

En la zona montañosa de Guadalajara de Buga más exactamente en el corregimiento de Monterrey, se cultivan diferentes productos como banano, lulo, café, mora y granadilla. Su producción es realizada por campesinos tradicionales de la zona y algunos productores manejan su comercialización por medio de ASOPRASA (asociación de productores agropecuarios de San José "Corregimiento de Monterrey").

Sin embargo el desarrollo económico de estas regiones no es trascendental, con niveles pobres de infraestructura de comunicación y tecnología que no permiten resultados económicos eficientes para los campesinos productores, que les permitan mayor y

mejor acceso a los servicios básicos de educación y salud entre otros (Basallo, Carmona, Granada, Peña y Zambrano, 2012).

El presente trabajo, se realiza bajo el marco del proyecto de investigación: Integración Logística Comercial Para El Sector Productivo De La Zona Media Rural De La Ciudad De Buga En El Centro Del Valle Del Cauca: Caso De Estudio Corregimiento De Monterrey, el cual propone el diseño de una solución logística integral que facilite la conectividad de los diferentes eslabones de la cadena de suministro de productos agrícolas. Para el apartado en estudio, se plantea un esquema que sirve como referencia para la simulación dinámica del comportamiento de los flujos de la cadena productiva.

Considerando varios ciclos productivos, el ingreso económico de los campesinos productores no parece razonable en función de los precios de venta en los centros de consumo, por lo que se evalúan factores como la comercialización y desempeño de la cadena productiva, teniendo en cuenta las condiciones de la vía de acceso a la zona rural de la ciudad de Buga e identificando el riesgo de deterioro del producto por incremento del tiempo en tránsito dado el mal estado de la carretera, afectado por el peso que circula sobre ella y por las lluvias en las diferentes épocas del año.

Con el uso de la dinámica de sistemas, se estructura el diagrama de influencias y el de Forrester, considerando



planteamiento de estas relaciones en el forrester, se muestra en la figura 2.

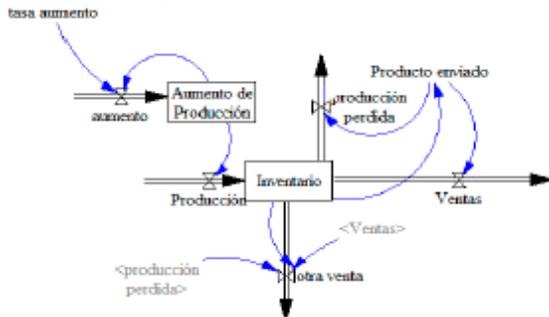


Figura 2. Representación Forrester de las variables Inventario, producción y ventas.

Como se observa en la figura 3, las variables venta y producción perdida, están afectadas por la cantidad de productos que se envían al cliente y el porcentaje que de este envío se convierte en producción perdida. La variable "producto enviado", representa la cantidad de producto enviado, y se formula a partir del análisis de la relación existente entre la capacidad para transportar el producto, demanda e inventario, sabiendo que a partir de cierta demanda, se requiere de capacidad de transporte e inventario disponible para poder cumplir con la demanda. Para determinar los valores de demanda se usa la función Random Normal. Con una media de 1200, mínimo de 1000, máximo de 1500, desviación estándar de 200 y semilla de 1.

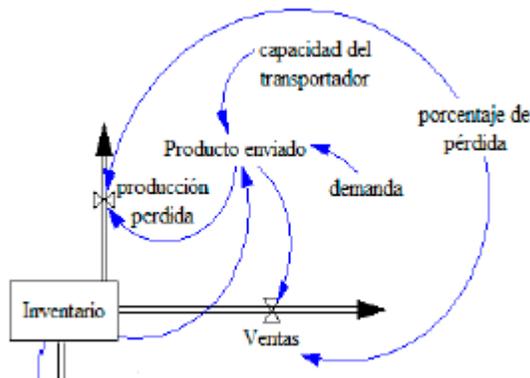


Figura 3. Diagrama Forrester de la relación del producto enviado, ventas, demanda, capacidad y producción perdida

El porcentaje de pérdida, es obtenido mediante la relación entre el tiempo que dura el producto, y el tiempo que éste toma en ser transportado; la proporción de tiempo recorrido a partir del tiempo de duración, representa el porcentaje del producto que se desperdicia. Esta relación es representada en el diagrama de Forrester como se muestra en la figura 3.

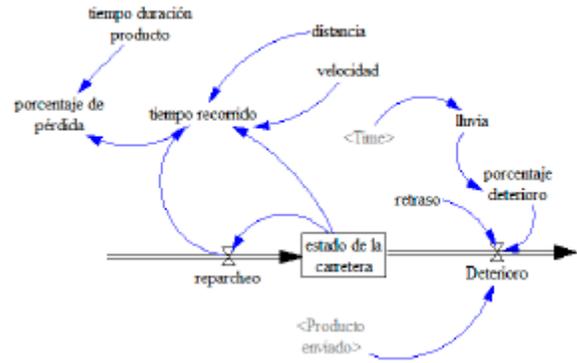


Figura 4. Representación Forrester de la determinación del porcentaje de pérdida por el estado de la carretera.

Para hallar el tiempo de recorrido del producto, se hace necesario entonces conocer la distancia de tránsito y la velocidad del vehículo. Arcos Mosquera Y Villada (2008), en su evaluación de rutas para el transporte de productos perecederos en el sector rural, mediante geo referenciación, encuentran que la velocidad en zona montañosa es de aproximadamente 12km/h, y que varía a partir de un factor por la característica de la carretera desde 0 como intransitable, hasta 0.9 cuando se encuentra en buenas condiciones. Este factor es representado por la variable "estado de la carretera" en el modelo tal como se muestra en la figura 4, y se usa el valor de la velocidad referenciada por los autores mencionados anteriormente y se encuentra además que la distancia del consumidor final hasta el productor es de aproximadamente 30 km. La variable "if", limita la variable carretera a valores menores de 0.3, ya que por debajo de esto, disminuye la velocidad de tránsito a valores que no se dan en la práctica, dado que nunca se presenta intransitabilidad.

El tiempo de recorrido también es afectado por el reparcho de la carretera, sumando 6 horas (tiempo que retrasa el tránsito por las reparaciones) al tiempo de recorrido cuando detecte que la variable "reparcho" toma el valor de 1.

El estado de la carretera inicia con un valor de 1 (100%) que indica que se encuentra en óptimas condiciones; este estado será disminuido por un deterioro en la vía que se encuentra en función del producto enviado y el porcentaje de deterioro. El porcentaje de deterioro representa la reducción del estado de la carretera a partir de los kilos de producto que por ella transiten, esta tasa determina cuanto se deteriora la carretera, cuando por ella pasa un kilo de producto; el valor propuesto de este porcentaje es de 6e-5.

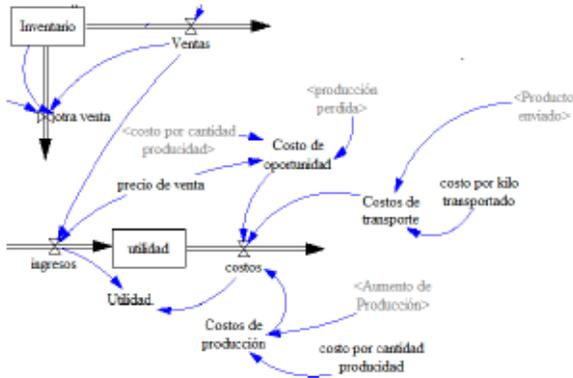


Figura 5. Diagrama Forrester de las variables asociadas a la utilidad

En el modelo propuesto, se plantea además un aumento de la tasa de deterioro cuando se presenta una lluvia, es decir, que cuando el modelo detecte una lluvia, aumentará el porcentaje de deterioro de manera proporcional a la intensidad de la lluvia que detecte y posteriormente reducirá el estado de la carretera con una mayor rapidez durante la época invernal. La lluvia, está en función del tiempo, considerando la bimodalidad del clima en la zona, se simula mediante un random el aumento de lluvias en dos épocas del año.

Cuando el estado de la carretera alcance el valor de 0.2, la variable reparchoe tomará el valor de 1 y pondrá de

nuevo el estado de la carretera en 1 que indica que la carretera queda de nuevo en condiciones adecuadas. Los ingresos, tal como se muestra en la figura 5, aumentan la variable utilidad y están determinados por la multiplicación de las ventas realizadas después del desperdicio y el precio del producto allí mismo, se muestra la variable utilidad siendo disminuida por los costos.

Los costos se clasifican en 3 tipos, costos por transporte, costos por utilidad y costo de oportunidad (por ventas perdidas), todos éstos sumados representan la variable de flujo 'costos' tal como se muestra en la figura 5.

El costo de oportunidad, es determinado por el producto de la producción perdida y la diferencia entre el precio de venta y el costo por cada kilo producido, la relación necesaria para permitir esta ecuación se muestra en la figura 5. Allí mismo se identifica como los costos de producción, son determinados por la cantidad de kilos producidos y el costo de producción por cada kilo (530\$/kl). Para determinar los costos de transporte, Asoprasa manifiesta tener un costo de transporte de 2000 \$/racimo, y determinando además un peso de aproximadamente 25 kl por racimo, se encuentra que el transporte de cada kilo de banano cuesta alrededor de 80 \$/Kl.

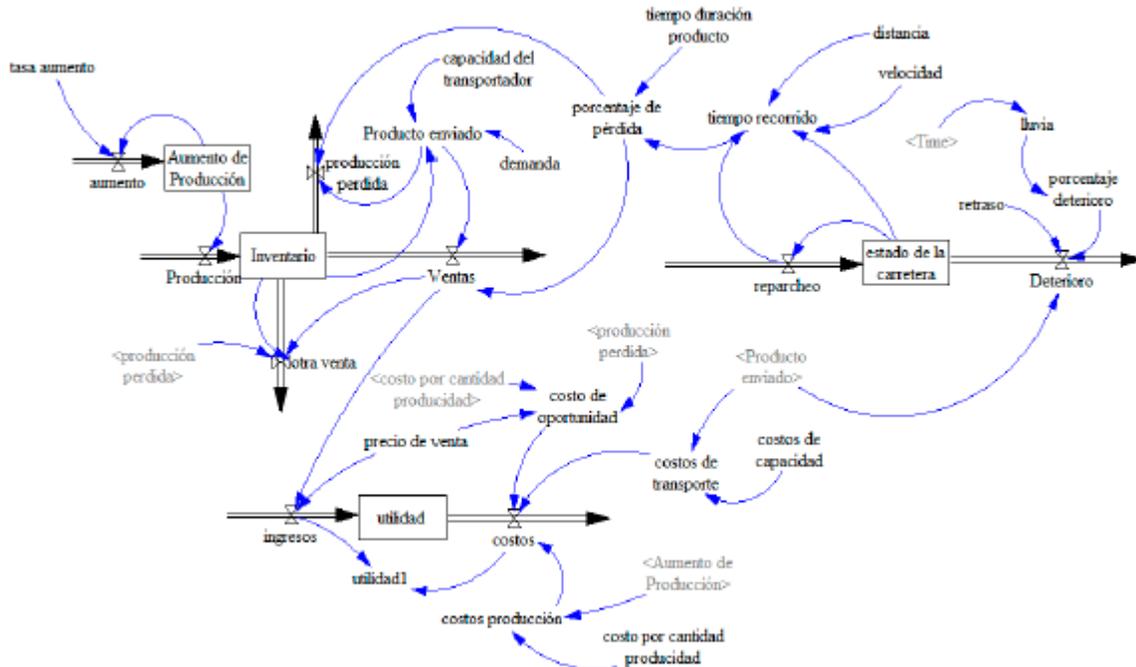


Figura 6. Diagrama de forrester completo

### III. RESULTADOS

Inicialmente, se observa el comportamiento del estado de la carretera mostrado en la Figura 7a, en ella se verifica la disminución desde el inicio de la simulación del 100% (o perfecto estado de la carretera), restableciéndose cuando alcanza valores bajos debido al reparcho de la vía. En la figura 3b se identifica la relación inversa del porcentaje de pérdida con el estado de la carretera.

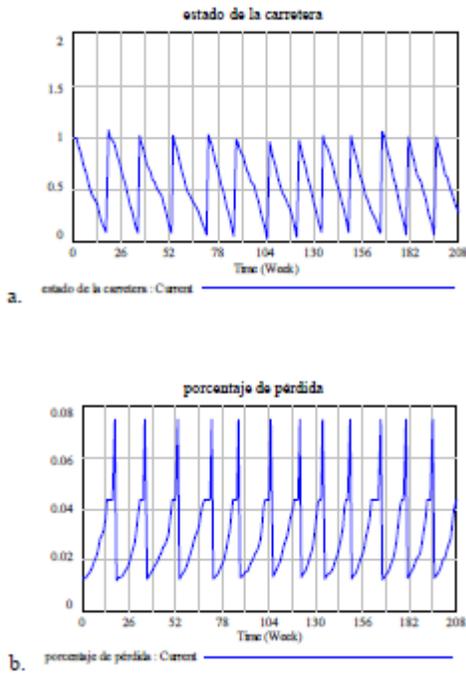


Figura 7. (a) Comportamiento del estado de la carretera. (b) Comportamiento del porcentaje de pérdida.

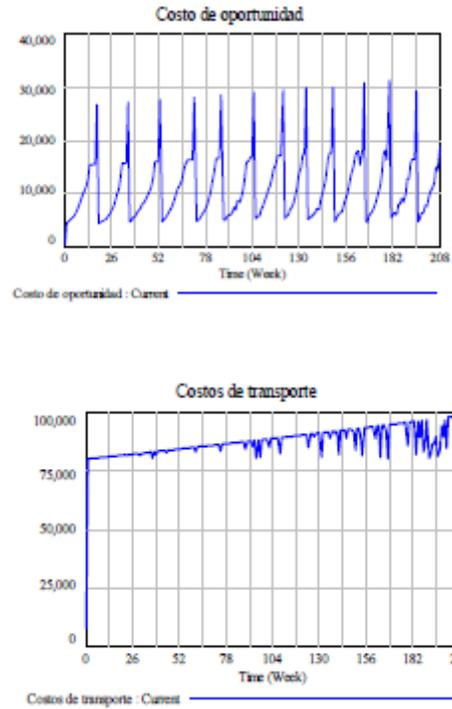
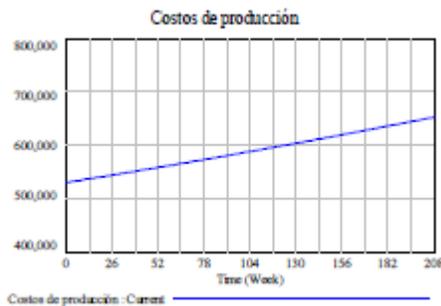


Figura 8. Comportamiento del costo de producción(a), costo de oportunidad (b) y costo de transporte (c).

La figura 8 representa el comportamiento de los costos de producción, oportunidad y transporte. El aumento en los costos de producción [Fig. 8(a)] crecen de acuerdo al incremento en la producción, mientras el costo de oportunidad [Fig. 8(b)] es determinado por la cantidad de producto perdido generado en el transporte. La figura 8(c) muestra el costo de transporte, el cual es definido por la cantidad del producto que se envía al cliente.

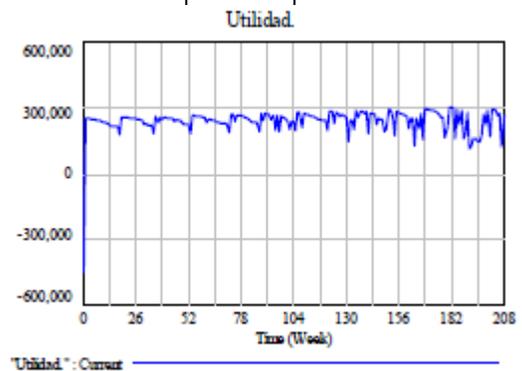


Figura 9. Comportamiento de la Utilidad en cada periodo

La Utilidad tiene el comportamiento mostrado en la figura 9. Esta variable está en función de todo el grupo de costos y de los ingresos.

#### IV. DISCUSIONES

El estado de la carretera depende del porcentaje de deterioro, el valor que este deterioro toma en el modelo es propuesto, ya que no existen datos del desgaste que sufre una carretera sin pavimento cuando por ella pasa un determinado peso, ni tampoco del aumento en el deterioro cuando existen lluvias.

La razón del deterioro por el peso y las lluvias, varía según el peso que se transporte y la aleatoriedad de las lluvias simuladas para aumentar en dos épocas del año; los valores que toma esta variable determinan los momentos en el tiempo en el que hay que realizar la reparación de la vía.

En la gráfica de la utilidad (Fig. 9) se observa cómo aunque positiva, se hace menos positiva según el deterioro de la vía.

#### V. CONCLUSIONES

- Para los datos proporcionados por Asoprasa, el mantenimiento a la vía se realiza aproximadamente cada 4 meses (18 semanas), esta Estimación coincide con el tiempo aproximado en el que en la práctica se hace el mantenimiento de la vía.
- Aunque el tiempo de transporte aumenta cuando hay reparcho, no se tienen en cuenta factores de clima que incrementan aún más el tiempo de reparación de la vía y posterior tiempo de transporte del producto.
- La utilidad varía entre \$230.000 y \$300.000 y sus picos mínimos coinciden con los picos mínimos del deterioro de la carretera, el cual se da aproximadamente cada 4 meses.
- El desperdicio aumenta desde 1% a 4% alcanzando un pico máximo de 7% en la semana que se realiza la reparación de la vía.
- La utilidad es además afectada por un cambio en el precio o en los costos de producción o transporte, tales aumentos no están contemplados en el modelo para el horizonte de tiempo propuesto.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Arcos, C. A. Mosquera, S. A. Villada, D. C. Evaluación de rutas para el transporte de productos perecederos en el sector rural  
 [2] Programa de sostenibilidad local y regional, plan de vía municipio de Buga, zona rural del corregimiento de Monterrey, alcaldía de Buga

- [3] Campuzano, F. Martínez, Eva. Cadenas de suministro tradicionales y colaborativas Análisis de su influencia en la gestión de la variabilidad de la demanda. Universidad Politécnica de Cartagena. Dpto. Economía  
 [4] Fontalvo, T. Vegara, J. Amézquita, J. (2009) Construcción de cadenas productivas del sector agrícola mediante modelos de redes: Caracterización, simulación de escenarios y prospectiva. Dimens. Empres.  
 [5] Basallo, Carmona, Granada, Peña y Zambrano, (2012) Proyecto interinstitucional prospectiva de Buga. Universidad del Valle.  
 [6] Ballou, R. (2004) «Administración de la cadena de suministro. Quinta edición,» Pearson Educación.  
 [7] Plan Frutícola Nacional Valle del Cauca tierra de frutas (2010.). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR, Gobernación del Valle del Cauca, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola – FNFH, Asociación Hortofrutícola de Colombia-Asohofrucol, Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca – SAG.

#### AUTORES



##### **FARLEY ALONSO NARANJO OSSA**

Tecnólogo en Electrónica –Universidad del valle, Estudiante 9 semestre ingeniería industrial –universidad del valle (Buga)



##### **Msc. DIEGO LEON PEÑA OROZCO**

Ingeniero Industrial- Universidad del Valle, Especialista en Calidad Total y Productividad - Universidad del Valle, Master en Ingeniería con énfasis Ingeniería Industrial - Universidad del Valle, Master en Administración - Universidad ICESI, MBA - Tulane University - Freeman School Of Business



##### **CRISTIAN FELIPE TORRES LADINO**

Tecnólogo Mantenimiento Industrial-Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Estudiante 9 semestre ingeniería industrial –Universidad del valle (Buga).

## 98. IMPACTO DEL ALMACENAMIENTO EN LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA INTERCONECTADO COLOMBIANO, ANTE LA ENTRADA DE GENERACIÓN INTERMITENTE.

### STORAGE IMPACT ON THE RELIABILITY OF THE COLOMBIAN INTERCONNECTED SYSTEM, AT THE ENTRANCE OF INTERMITTENT GENERATION.

**DIEGO FERNANDO PESCADOR GUAPACHA.IE, CARLOS FRANCO. PHD, JOHNNY VALENCIA. M.SC,**

Universidad Nacional de Colombia - Medellín, Colombia  
difpescadorgu@unal.edu.co, cjfranco@unal.edu.co, jovalenciocal@unal.edu.co

**ISAAC DYNER**

Universidad de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano – Bogotá, Colombia  
idyner@yahoo.com

#### ABSTRACT

Currently, Colombian electrical system remains constant and stable under the daily load demand. The impact of new power generation forms is positive for the different economies in the world and contributes to the emission reduction of greenhouse gases.

This work analyzes the effect of reservoir capacity as emergency response to the power and energy demand due to operation of renewable energy sources and its intermittence using dynamics systems methodology in the National Interconnected

**KEYWORDS:** System Dynamics, electricity markets, reservoir, intermittent generation, economic dispatch.

#### I. INTRODUCCIÓN

Partir de los diferentes problemas ocurridos en los años noventa, en Colombia se da un apagón en el año 1992, siguiente un racionamiento ante la respuesta de cubrimiento de la demanda potencia en todo el país, a partir de tales problemáticas se da la liberalización del mercado, generando así un mecanismo de entrega de un servicio público como lo es la prestación de energía eléctrica en todo el territorio Nacional [1].

Los cambios más fundamentales en el Sector Eléctrico Colombiano debido a la estructura de mercados establecida fueron: creación de las reglas del mercado por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG -, se estableció un Centro Nacional de Despacho, se estableció un organismo para realizar y supervisar las transacciones comerciales del mercado, participación del sector privado, competencia entre los

generadores, usuarios regulados y no regulados, se estableció la figura del comercializador de energía, y muchos otros [2].

El Actual esquema del modelo eléctrico Colombiano trae enormes ventajas pues se garantiza al país la generación de energía por parte de las empresas, a su vez que se les garantiza a estas empresas unos flujos ciertos de ingresos por un período determinado. De esta manera, el modelo de generación de energía eléctrica se hace cada vez más confiable [3].

La creciente demanda de energía eléctrica, en todos los países en proceso de desarrollo, como lo es Colombia, se ve en ocasiones no ser atendida por los diferentes mecanismos actuales de generación, esto conllevando a promover incentivos para nuevas alternativas [4].

El documento está organizado de la siguiente forma, en el capítulo dos (2) se da a conocer la metodología a utilizar, en esta sección se despliegan partes que complementan dicho punto, posteriormente se da a conocer el mercado eléctrico Colombiano en la sección tres (3), en la sección cuatro (4) se da a conocer el modelo y finalmente se culmina con las conclusiones en la sección cinco (5).

## II. METODOLOGÍA

La Dinámica de sistemas es una herramienta que tiene sus raíces en la ingeniería de control y ha sido catalogada como una rama de las ciencias de la administración, es apropiada para abordar aspectos tales como: representar procesos de retroalimentación, estructurar el comportamiento de un sistema a partir de la interacción de sus elementos a través del paso del tiempo, reconocer los retrasos y comprender su impacto, identificar las no linealidades [5].

Esta metodología es usada por su aplicabilidad en diferentes sistemas como sociales, ambientales, económicos políticos, permitiendo siempre una retroalimentación de las todas las variables que interactúan entre sí en dicho sistema.

## III. PROBLEMA

En las últimas décadas el panorama energético a nivel mundial ha sufrido un cambio drástico debido al cambio climático, a la disminución de los recursos fósiles, al aumento de los costes de combustible y a la amenaza de interrupciones en el suministro [6].

En Colombia no se ha evidenciado generación de energía mediante almacenamiento (en ninguna forma), pues actualmente por el dominio de la generación hidráulica, todo aquello que se tiene en los embalses es despachado y utilizado para el cumplimiento de la demanda [7].

En el Sector Eléctrico Colombiano evalúan situaciones críticas en los ríos aportantes a los diferentes embalses asociados a proyectos de generación eléctrica del país, con los objetivos de evaluar la situación de los proyectos hidroeléctricos, y si es del caso intervenirlos para garantizar la confiabilidad del sistema y definir aspectos remunerativos referidos al respaldo del sistema [2].

Los periodos secos generan altos riesgos en el cumplimiento de contratos respecto a generación

hidráulica, pues esta puede ser insuficiente ante bajos niveles de hidrología. En este caso el no tener alternativas como mercado eléctrico (dependencia de generación de energía), se vería una crisis para la respuesta a la demanda. [7]

La necesidad de ajustar la oferta energética a la demanda exige en general una etapa de almacenamiento de la energía. Esta exigencia es más patente en el caso de las energías renovables de origen solar y eólico que entren a participar en el mercado eléctrico pues debido a su carácter de intermitencia, esto causado por las condiciones meteorológicas locales [8].

El caso ejemplo es el de España que en su matriz de generación de energía, la generación eólica abarca el 20% del total del parque de generación. Demostrando un alto nivel en la posible intermitencia que puede ocurrir al momento de responder ante la demanda de potencia demanda por la nación. El principal objetivo de todo sistema eléctrico es satisfacer la demanda de forma óptima para alcanzar el mayor nivel de eficiencia posible en el conjunto del sistema [9].

El caso ejemplo es el de España que en su matriz de generación de energía, la generación eólica abarca el 20% del total del parque de generación. Demostrando un alto nivel en la posible intermitencia que puede ocurrir al momento de responder ante la demanda de potencia demanda por la nación. El principal objetivo de todo sistema eléctrico es satisfacer la demanda de forma óptima para alcanzar el mayor nivel de eficiencia posible en el conjunto del sistema [9].

El objetivo es tener un sistema eléctrico mucho más estable y eficiente, el modelo de tener almacenamiento de energía mediante embalses puede ser una respuesta ante una no posible presentación del servicio, respuesta eficiente y confiable a la demanda como mercado eléctrico.

En la siguiente sección tres (3) se entrará a hablar del mercado eléctrico Colombiano.

## IV. MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

En esta parte se dará un pequeño recuento del mercado eléctrico Colombiano, el actual estado de generación y proyecciones de la demanda de energía y potencia en el país a largo plazo (Anual).

Durante la década de los años 90's y después de pasar por un fuerte fenómeno del niño Colombia sufrió racionamiento que llevó al gobierno de turno promover leyes que permitieran responder ante la demanda de energía, esta demanda tuvo que ser recortada por el racionamiento que se dio a partir del fuerte fenómeno del niño en el territorio nacional, la hidrología de los embalses no cubría la demanda de la época. El tener una alta dependencia de la generación de energía hidráulica llevo a tal racionamiento. A partir de ahí se promulgó la ley 142 de 1994[10] y 143 de 1994[11]. Con estas nuevas leyes, se dio la liberalización del sector eléctrico, permitiendo la iniciativa y participación privada en el sector. [1]

Esta liberalización dio pie para un nuevo modelo de mercados en competencia para la prestación de los servicios públicos domiciliarios en Colombia, sometidos a la regulación, control y vigilancia por parte del Estado; modelo que para el caso del sector eléctrico, crea el Mercado de Energía Mayorista Colombiano y genera un punto de encuentro entre la oferta y la demanda de energía, en el cual el Estado crear instituciones requeridas para promover un desarrollo eficiente del mismo, en procura de garantizar la prestación del servicio de energía de manera segura, confiable y eficiente [12].

El mercado mayorista adoptó un diseño similar al modelo del mercado inglés, usando dos modalidades para negociación de la electricidad: los contratos en el largo plazo y la bolsa de energía –Mercado Pool- en el corto plazo [1].

**V. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

Teniendo un sistema de generación de energía, en su mayoría dominado por hidroeléctricas, este es muy sensible e inestable ante los diferentes estados por los que puede atravesar climáticamente el país, cabe anotar el gran impacto que se produce por el fenómeno del niño. La prueba se dio en la experiencia durante los años 1991-1992, donde el gobierno nacional tuvo que tomar diferentes mecanismos de respaldo para los momentos en que volviera a ocurrir un evento de esta magnitud y así tener una respuesta ante la demanda. En la Fig 1 se muestran los diferentes porcentajes de la capacidad instalada en generación de energía en el mercado eléctrico Colombiano [13]

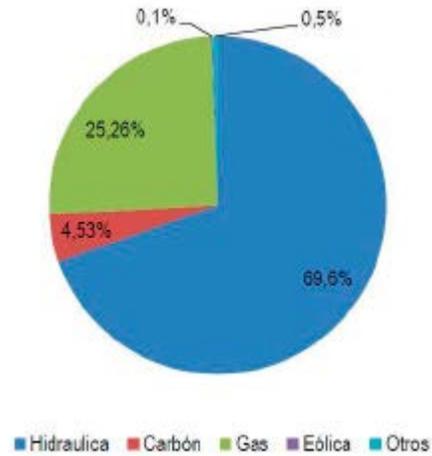


Figura 1. Porcentaje de Generación Neta Colombia (Oct 2014)[14] Fuente: UMPE – Datos: X

En la Fig 2 se muestra la gráfica de elasticidad del precio respecto a la generación. En la década de 2004 y 2014.

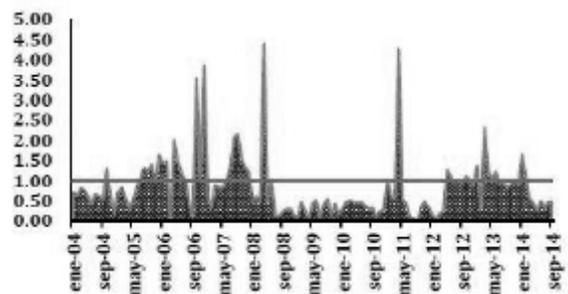


Figura 2. Elasticidad precio – Demanda Mercado Eléctrico[15] Fuente XM – Cálculos UPME

En la gráfica se observa la volatilidad del precio respecto a la generación por los diferentes aspectos meteorológicos que se ven reflejados en el precio.

**VI. DESPACHO ECONÓMICO**

En el modelo se simulará el despacho económico de electricidad de manera horaria, lo cual se hace por medio de criterios establecidos en el mercado eléctrico Colombiano, esto depende de cada una de las tecnologías con las que se está trabajando, la capacidad individual de estas, el precio con el que oferten para suplir la demanda, y finalmente se generará el precio del sistema [16].

En la Fig 3 se presenta el diagrama de se toman las decisiones en Colombia para realizar el despacho económico.

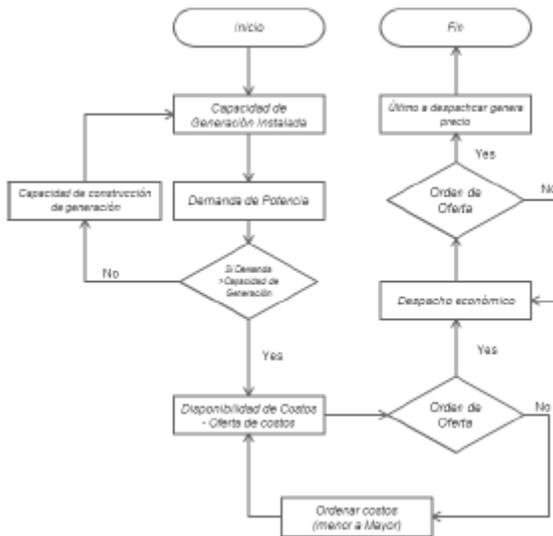


Figura 3. Diagrama de flujo Despacho económico. [16]

Este proceso operativo establece el despacho económico o programa de generación para cubrir la demanda doméstica esperada, más las exportaciones y menos las importaciones internacionales. Para cada hora, se usan los recursos de menor precio, cumpliendo con las condiciones límite que tiene el sistema: los requisitos de reserva rodante, las inflexibilidades de las plantas y las restricciones del sistema. El programa de generación o despacho está conformado por la cantidad de energía que cada una de las plantas hidráulicas y unidades térmicas debe generar en cada hora. El programa para las 24 horas del día es elaborado por el CND y enviado a los agentes generadores antes de las 14:45 horas para su aplicación al día siguiente [17].

## VII. DEMANDA DE ENERGÍA

La economía colombiana ha sido la de mayor crecimiento en Latinoamérica desde 2010 con un crecimiento promedio de 4.6%; al finalizar el tercer trimestre de 2014, las cifras oficiales muestran un crecimiento en la economía nacional de 5.1% [15].

En el caso de la demanda de energía eléctrica, esta se ha fortalecido con un crecimiento anual de 2.8% a Febrero de 2015; así mismo, los consumos a nivel residencial, industrial y comercial, crecen al comenzar 2015 al 4%, 6% y 5% anual respectivamente, en línea con el crecimiento económico, que se espera cierre en 2014 entre 4,5% y 4,8% [15].

En la siguiente Fig 4 se muestra la curva característica de demanda de Carga Colombia, lo que genera una

expectativa de abastecimiento y respuesta eficiente ante tal.



Figura 4. Curva de Demanda (Colombia) [18] Fuente: XM

La demanda de energía eléctrica en Colombia independientemente del estrato a nivel de hogares, o del sector, se ha fortalecido como una demanda inelástica, es decir, insensible a variaciones en el precio, lo que hace estable su nivel de consumo tendencial a largo plazo [15].

## VIII. DEMANDA DE ENERGÍA

A partir de estos estudios, y del cumplimiento para suplir esta demanda como está establecido en la ley 142 1994[10], es necesario responder ante la prestación del servicio de público domiciliario de energía eléctrica. En este estudio se pretende dar una respuesta con los diferentes mecanismos de generación de energía. A continuación se da a conocer las proyecciones que se tiene previstas a Marzo de 2015, por parte de la Unidad de planeación minero energética UPME en los escenarios de la curva de demanda, tanto en Potencia como en Energía [15].

A continuación la Fig 5 y Fig 6 se muestran las proyecciones de demanda en Colombia en los diferentes escenarios.



Figura 5. Demanda de Potencia Largo plazo Anual (2015-2030) [15] Fuente: UPME - Datos XM.



Figura 6. Demanda de energía Largo plazo Anual (2015-2030). [15] Fuente: UPME – Datos XM.

Al momento de hablar de escenarios, se refieren a momentos (horarios) en los cuales, hay cambios importantes en la curva de demanda. En la sección se presentó una breve descripción del mercado eléctrico Colombiano y su planificación a futuro, en la siguiente sección se presentará el modelo de flujos y niveles.

**IX. MODELO FLUJOS Y NIVELES**

A continuación se da a conocer el desarrollo del modelo del problema de estudio.

Este modelo en dinámica de sistemas consta de dos módulos influyentes en la simulación del mercado eléctrico, el que respecta a la capacidad de respuesta ante la intermitencia de generación de energía por parte de las diferentes tecnologías (Embalses) y el correspondiente a despacho económico, pues este lo que busca es atender la demanda de potencia y energía del mercado eléctrico Colombiano.

**X. DIAGRAMA CAUSAL**

En la Fig 7 se muestra el diagrama causal [19] a través de este se toma como base para el análisis del problema bajo estudio.

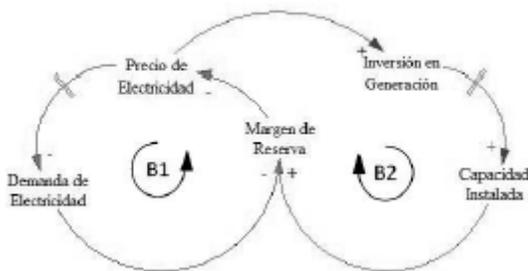


Figura 7. Diagrama Causal, Mercado eléctrico [19].

B1 Ciclo de Balance 1, explica cómo el precio de la electricidad afecta la demanda de la misma. En este sentido, a más Precio de Electricidad menor será la Demanda de Electricidad, este fenómeno se asocia a la elasticidad de la demanda en el largo plazo. Además, a más Demanda de Electricidad menos Margen del Sistema Margen, y a más Margen del Sistema el Precio de la Electricidad será menor pues se tiene mucha oferta con respecto a la demanda [20].

B2 Ciclo de Balance 2, explica la expansión del sistema eléctrico de acuerdo a las señales dadas por el Margen del Sistema y el Precio de la Electricidad. De acuerdo con esto, a mayor sea el Margen del Sistema menor será el Precio de la Electricidad; sin embargo, a mayor sea el Precio de Electricidad existirán incentivos para invertir en nueva capacidad de generación eléctrica, y a más Inversión en Generación existirá más Capacidad de Generación, por lo que será mayor la oferta de electricidad y el Margen del Sistema incrementara [20].

**XI. FLUJOS Y NIVELES**

En la Fig 8 se da a conocer el modelo general del sistema que se desea estudiar y analizar, donde se tienen presentes las diferentes tecnologías en generación de energía eléctrica y los componentes referentes como la capacidad de generación instalada, demanda de potencia, y capacidad de generación en construcción los cuales son los niveles en el modelo.

En este modelo se observan los demás componentes de del mercado eléctrico, como los es decisión de inversión respecto a la capacidad de construcción en generación de energía eléctrica, el precio del sistema etc, como se nombró anteriormente el modelo se encuentra basado en la hipótesis dinámica de Dyer [19]

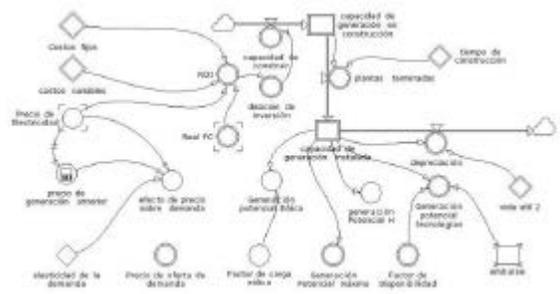


Figura 8. Modelo general de flujos y niveles

Esta parte del modelo, Fig 9 es la simulación de los embalses, del cual se espera una respuesta

satisfactoria para el respaldo ante una no respuesta por parte de los demás sistemas de generación y mantener la confiabilidad del Sistema en la prestación del servicio.

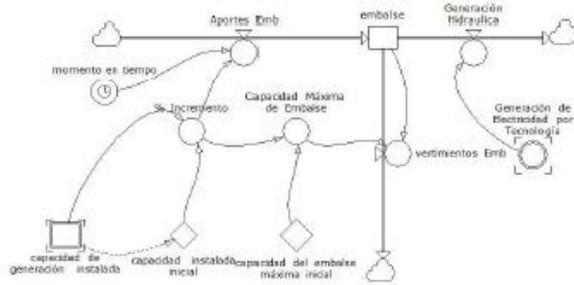


Figura 9. Modelo de Embalse del sistema.

El modelo del sistema requiere un despacho económico que de manera eficiente muestre el procedimiento que se realiza en el mercado eléctrico Colombiano, en la Fig 10, se da a conocer como fue modelado este para posteriormente tener unos resultados previos.

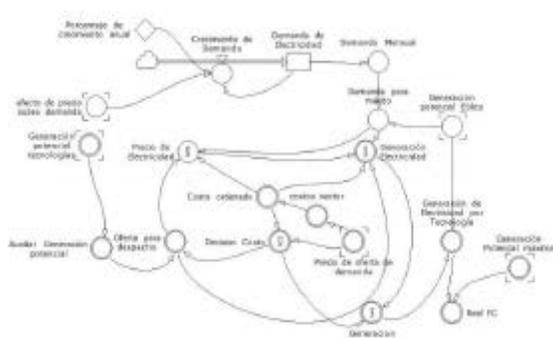


Figura 10. Modelo de despacho económico del sistema.

## XII. RESULTADOS PREVIOS

A partir del modelo simulado se encuentran resultados previos que conllevan al análisis y a la continuación de la investigación respecto a la respuesta de los embalses ante la entrada de generación de energía intermitente en el mercado eléctrico Colombiano.

A continuación se muestran algunos resultados entregados por el programa de simulación respecto al comportamiento de la generación de energía eléctrica por tipos de tecnologías Fig 11, comportamiento del precio del sistema Fig 12 y comportamiento del embalse Fig 13.

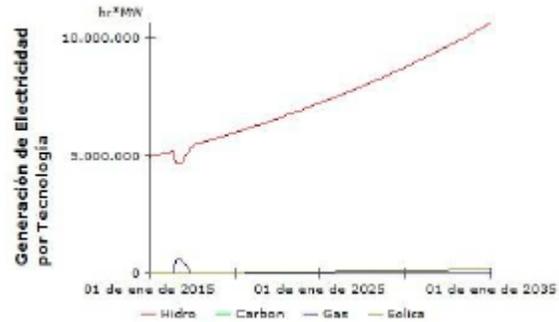


Figura 11. Comportamiento de tipos de Generación de energía por tecnologías [14].

Se observa el predominante crecimiento de la generación de energía Hidráulica, pero se debe tener presente, el aumento en participación de generación de otros tipos de tecnologías cuando la generación hidráulica no responde satisfactoriamente.

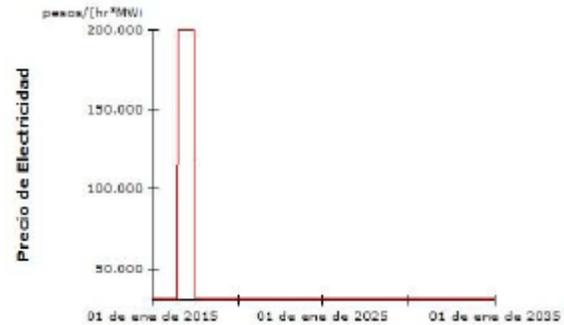


Figura 12. Comportamiento del Precio del Sistema

El comportamiento del precio del sistema se ve incrementado por la entrada de generación de otro tipo de tecnología, lo que conlleva a que este sea mucho más elevado al no presentarse generación hidráulica aproximadamente entre el año 2015 y 2016 de la simulación.

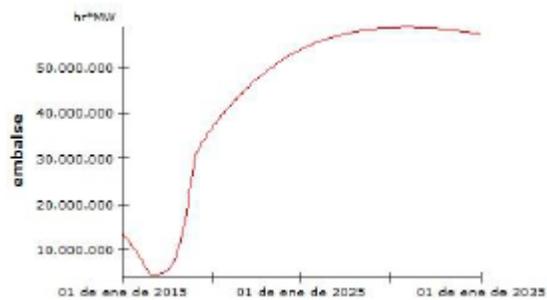


Figura 13. Comportamiento de Embalses

### XIII. CONCLUSIONES

En esta sección se dan las conclusiones del trabajo presentado del modelo que se encuentra actualmente en desarrollo.

El comportamiento de las diferentes tecnologías en el mercado eléctrico Colombiano, lleva a proponer nuevas políticas que respondan efectivamente a la prestación del servicio.

En los resultados previos se pudo observar el posible comportamiento del precio, al momento cuando la tecnología predominante en el sistema cambia, este tiende a incrementar y de una u otra forma a desestabilizar todo el mercado. Alta volatilidad.

Se puede observar el comportamiento del sistema es muy frágil ante la dependencia de su componente hidráulico, lo que puede en algún momento ser decisivo ante una gran sequía, pues este puede llevar a un racionamiento o apagones en el sistema eléctrico. Se deben tener políticas de respuesta ante posibles acontecimientos inesperados que no se tengan previstos.

La investigación se seguirá desarrollando para tener futuros resultados que demuestren la importancia de los embalses ante la entrada de la generación de energía intermitente.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a Colciencias por su programa de Jóvenes investigadores, al Grupo de Investigación de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional de Colombia, al departamento de ciencias de la computación y de la decisión de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia.

### REFERENCIAS

- [1] C. J. Franco, "Racionalidad limitada del consumidor en mercados energéticos desregulados y la función del comercializador y el gobierno," Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, 2002.
- [2] L. I. Ceballos B and G. Poveda J, "Seminario Internacional Sobre Eventos Extremos Mínimos En Regímenes De Caudales: Diagnóstico, Modelamiento Y Análisis Escalamiento Temporal En Cuencas Colombianas," 2004.
- [3] Acolgen, "Cómo funciona el Mercado," pp. 5–7, 2015.

- [4] C. De Colombia, "Ley N° 1715 Del 13 De Mayo De 2014," no. May, p. 26, 2014.
- [5] J. D. Sterman, *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. 2000.
- [6] M. M. R. Rey Porto, "Guía del Almacenamiento de la Energía," 2011.
- [7] J. Felipe, F. Barrera, and I. D. R, "Evaluación de un portafolio de generación de electricidad, Utilizando Dinámica De Sistemas," pp. 75–84, 2004.
- [8] C. Clemente, "Comparación de tecnologías de almacenamiento energético provenientes de energías renovables," pp. 29–49, 2012.
- [9] S. M. Juan Pablo, "Costes de capacidad en un mercado eléctrico con energías intermitentes," 2011.
- [10] C. de Colombia, "Ley 142 de 1994," 1994.
- [11] C. De Colombia, "Ley Eléctrica - Ley 143 de 1994," 1994.
- [12] C. Zapata Ramirez, "Evaluación del comportamiento de la competencia en la actividad de generación de energía en el mercado mayorista colombiano, bajo condiciones de oligopolio = Performance evaluation of competition in the power generation business in the wholesale market in," 2011.
- [13] I. Sebastian, Zapata, Franco, Carlos; Dyer, "Evaluación de Políticas para la seguridad de suministro énfasis en el mercado eléctrico Colombiano Policy Evaluation emphasis supply security in the Colombian electricity market," 2014.
- [14] Upme, "Plan de Expansión de Referencia Generación-Transmisión 2014-2028," p. 765, 2015.
- [15] UPME, "ELÉCTRICA Y Revisión Marzo de 2015," 2015.
- [16] J. F. López Velasquez, "Efecto del almacenamiento de energía en el mercado mayorista de Colombia," Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, 2014.
- [17] A. Diaz and J. Diaz, "Una Visión del Mercado Eléctrico Colombiano," *Merc. Energía Eléctrica en Colomb. -Análisis Comer. y Estrategias*, 2004.
- [18] M. Jimenez Zapata, "Evaluación de los efectos de la penetración fotovoltaica en la curva de carga del sector residencial: el caso Colombiano.," Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [19] I. Dyer, "Energy modelling platforms for policy and strategy support," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 51, no. 2, pp. 136–144, 2000.
- [20] E. Garcés, C. J. Franco, and I. Dyer, "Evaluación de la robustez del Cargo por Confiabilidad en el parque generador eléctrico Colombiano," *X Congr. Latinoam. Dinámica Sist. III Congr. Bras. Dinámica Sist. I Congr. Argentino Dinámica Sist.*, 2012.

**AUTORES**

**DIEGO FERNANDO PESCADOR GUAPACHA** received the Engineering degree in Electrical Engineering from Universidad Nacional de Colombia, in 2012. He currently is a M.Sc. student in

Energy Systems at Faculty of Mines at Universidad Nacional de Colombia. His current research interests are Energy Markets, applications of modeling and electrical energy generation problems.



**CARLOS JAIME FRANCO** got his Bachelor in Civil Engineering, and his Ph.D. in Engineering. His current research interests are modeling systems, energy markets, and

complexity. He is a professor of Complex Systems at Universidad Nacional de Colombia. He also has experience in the electricity sector after working by ten years in ISA, a leading company in the wholesale Colombian Electricity Market.



**JOHNNY VALENCIA** received his degree in Electronics Engineering in 2010 and M.Sc. in Industrial Automation, from Universidad Nacional de Colombia, in 2012. He currently is a Ph.D. student at Universidad Nacional de Colombia.

His research experience has led him to become involved in topics related to dynamic analysis, nonlinear dynamics and system dynamics, focusing on modeling, simulation and applications of mathematics in engineering



**ISAAC DYNER** got his Bachelor in Mathematics, his M.Sc. in Statistics and Operational Research and his Ph.D. in Decision Sciences, from University of London (LBS). He was associate professor at Universidad Nacional de

Colombia in the areas of Operations Research, System Dynamics, Strategy, Regulation and Energy.

## 99. INTERVENCIÓN COMO JUEGOS DE LENGUAJE.

**JORGE VELEZ CASTIBLANCO**

Universidad EAFIT - Colombia  
velez.castiblanco@gmail.com

### RESUMEN

La intervención realizada para mejorar las condiciones de una situación puede hacer uso de muchos tipos de herramientas. En el pensamiento de sistemas se puede hacer uso de un gran número de métodos, metodologías, modelos y técnicas. Estas pueden provenir de diferentes paradigmas. Sin embargo también se puede intervenir con herramientas que no provengan del pensamiento de sistemas. Lo que es más, elementos como chistes, anécdotas, o palmadas en la espalda, pueden también usarse para intervenir. El rango de herramientas que se puede emplear puede ser muy amplio, sin embargo los marcos que se emplean para pensar como las distintas herramientas se integran es limitado en la variedad que pueden considerar. Esta ponencia propone el concepto de juegos de lenguaje en la filosofía de Wittgenstein como una perspectiva capaz de abarcar esta diversidad.

La dinámica de la situación en sí misma es un juego de lenguaje y todo lo que usamos para impactar en la situación puede ser pensado como juegos de lenguaje. El proceso de intervención puede ser visto entonces como la superposición de muchas fibras. Se argumenta que esta perspectiva permite de una manera flexible, ajustar y combinar diferentes aproximaciones sin olvidar el rol central de los actores y su influencia en el proceso. Considerando la intervención como juegos de lenguaje, busca entender las posibilidades y efectos que los usos de diferentes herramientas tienen en las "actividades" y las "formas de vida" de los actores involucrados.

**PALABRAS CLAVE:** Multimetodología, Intervención, Wittgenstein, Filosofía del lenguaje, Juegos de Lenguaje, Pensamiento Crítico de Sistemas.

### ABSTRACT

Intervening to improve the conditions of a situation can make use of many approaches. It can use systems methods and methodologies, models and techniques. They can be from different paradigms, and they can be non systems thinking too. What is more, for intervening, devices such as jokes, anecdotes, or comforting pats on the back can also be drawn. From systems thinking to resources more akin to ethnographical accounts, all of them can be use. This paper proposes the concept of language games in Wittgenstein philosophy as a perspective able to encompass all this diversity. The dynamics of the situation in itself is a language game and everything that we use to affect the situation can be thought of as language games. The overall view of an intervention process can be seen as the "overlapping of many fibres." It is argued that this perspective allows for a flexible way to adjust and combine distinct approaches without forgetting actor's central role, and its influence on the process. Considering the intervention as language games, aims to understand the possibilities and effects that the uses of the different tools have on the "activities" and "forms of life" of the engaged actors.

**KEYWORDS:** Multimethodology, Intervention, Wittgenstein, Philosophy of Language, Language Games, Critical Systems Thinking.

### I HERRAMIENTAS PARA LA INTERVENCIÓN: UNA "FAMILIA" EXTENSA.

El pensamiento de sistemas y la Investigación de Operaciones, proveen una amplia variedad de

herramientas para guiar y conducir una intervención en contextos organizacionales. Siguiendo a Jackson (2000) es posible ver herramientas apoyadas en paradigmas funcionalistas, interpretativos, críticos y

postmodernos. Estos paradigmas corresponden respectivamente a los propósitos de representar y optimizar una situación, lograr un entendimiento intersubjetivo, la emancipación y el evidenciar el conflicto y la marginalización.

Aunque de diferentes orígenes, las herramientas de los diversos paradigmas explicitados por Jackson, representan lo que Keys (1997) llama enfoque orientado por la teoría (theory driven approach). El cual codifica conocimiento en métodos, metodologías, modelos y técnicas para guiar la acción, reflexionar y aprender sobre intervenciones. Sin embargo, Keys (2002, p.212) señala que "a main disadvantage [of the approach] is that they simplify the work, often to an unrealistic degree, and do not formally acknowledge its social aspects".

Para superar la limitación de lo social, se llega a lo que Keys (1997) identifica como un enfoque orientado a la práctica (practice driven approach). Esta se deriva de las ciencias sociales, y se enfoca en casos de intervención concretos. "examines in detail particular pieces of MS/OR work and seeks to develop an understanding of how experienced practitioners carry out their work" Keys (2002, p.212). Pone su atención en lo social y político así como en los aspectos creativos de la intervención. Esta aproximación es una de las que le da importancia a dar palmadas en la espalda.

Al fusionar ambas aproximaciones se amplía el rango de acciones posibles en una intervención dada. Las acciones pueden ser codificadas previamente como en enfoque orientado a la teoría, pero también pueden emerger del contexto social y político. Esto nos muestra lo que Keys identifica como una tercera aproximación emergente, una que busca trabajar a través de dos circuitos de análisis e involucrar una familia extensa de herramientas.

Esta ponencia contribuye a esta tercera aproximación proponiendo que la filosofía del lenguaje, especialmente el trabajo de Wittgenstein en Juegos de Lenguaje es un fundamento adecuado que nos permite considerar de manera completa la situación y las estrategias y las herramientas usadas para intervenir.

## II. LAS DOS MANERAS DE WITTGENSTEIN PARA APROXIMARSE AL LENGUAJE

Wittgenstein es uno de los filósofos más importantes del siglo XXI. Su filosofía se centra en el problema del lenguaje y en este problema articula dos puntos de vista

muy poderosos e influyentes. En el primero, construye la idea del lenguaje como "El espejo del mundo" (Wittgenstein, 1922), argumentando que la estructura de las frases y las ideas muestra la estructura lógica de los actos en el mundo. Por ejemplo, estas ideas fueron usadas por el Círculo de Viena para apoyar su proyecto que buscaba lograr la unidad de la ciencia (Nodoushani, 1999). Esto implica la expresión de todo el conocimiento en un lenguaje simple lógico y estándar.

Sin embargo, si se considera que una metodología debe reflejar algo sobre el mundo, o que debe estar de acuerdo con un estándar de lenguaje, simple y lógico, entonces el efecto de un actor en su uso, causará una desviación de la imagen "real" del mundo y la lógica de un lenguaje estándar. Bajo esta visión tan rígida, la tarea del actor es evaluar los "hechos" de una situación y luego seleccionar la metodología apropiada. (Vease, por ejemplo, Jackson y Keys (1984)).

De acuerdo con Garfinkel (1981), los marcos conceptuales guían el tipo de preguntas y las exploraciones que hacemos. Consecuentemente, para tener en cuenta los actores, se requiere un marco conceptual capaz de abarcar múltiples factores y situaciones en las intervenciones. Se requiere el abandono de la idea de que existe una naturaleza intrínseca o "real" en las herramientas que tienen que ser expresadas en formas particulares. Se requiere una posición filosófica donde el actor pueda tener un lugar para entender cada caso.

Wittgenstein (1988), es decir su segunda aproximación al lenguaje cumple este propósito. Aquí la "realidad" no está allá afuera, de manera que no es necesario reflejarla. La metáfora es ahora la de herramienta. El lenguaje nos permite hacer cosas en el mundo. El conocimiento es creado por interacciones sociales o, en los términos de Wittgenstein, por "Juegos de Lenguaje". El conocimiento es dependiente de los actores involucrados. Aquí es posible encontrar un lugar para los actores en un proceso de intervención.

Este punto de vista se presenta en "Investigaciones filosóficas" un libro que algunos consideran el más importante en la filosofía del siglo XXI (Stern, 2004). Los puntos de vista de este libro están asociados con lo que ahora es llamado construcción social. Una postura que existe no solo en los estudios organizacionales sino también en mas amplio campo de las ciencias sociales y humanas (K. J. Gergen & Leach, 2001; M. M. Gergen & Gergen, 2003; Schwandt, 2000).

La influencia del punto de vista de Wittgenstein en MS/ST es indirecta y no tan visible. Autores como White y Taket (1997) y Jackson (2000) aluden a él para apoyar sus ideas pero sin entrar en detalle en sus afirmaciones. Una posible excepción es la propuesta de Hassard (1990) sobre la mediación de los paradigmas inconmensurables usando un meta juego de lenguaje.

Sin embargo parece que su proposición no ha sido desarrollada o comentada más ampliamente en la literatura. Aun así hay ideas de cibernética de segundo orden donde el concepto de conocimiento en lenguaje socialmente construido, encuentra resonancias (Véase, por ejemplo Varela (1979), Maturana (1988), Von Foerster (1989) y Von Glasersfeld (1996)). Una de las contribuciones de esta ponencia es usar las ideas de Wittgenstein en el campo del Management Science/Systems Thinking.

### III JUEGOS DE LENGUAJE

A través de una serie de experimentos mentales, Wittgenstein (1988, §43) no sólo muestra cómo los significados se afectan por el uso sino también esta idea crucial "el significado de una palabra es su uso en el lenguaje" Esto implica que el significado no se deriva de características intrínsecas de las palabras. El significado resulta de lo que es posible hacer con ellas. En consecuencia, las palabras son vistas como herramientas que pueden ser aplicadas para afectar las interacciones en el contexto. Por ejemplo, siguiendo a Winograd y Flores (1986), un acto de habla, puede declarar a una pareja casados o a alguien como el gerente de una empresa.

Esta idea de significado en el uso se deriva, quizás, del concepto más famoso en la filosofía de Wittgenstein: Juegos de Lenguaje. En este sentido, Wittgenstein (1988, §7), el lenguaje puede ser entendido en términos de juegos de lenguaje. Estos son definidos como el "todo formado por el lenguaje y las acciones con las que está entrelazado" también "la expresión 'juego de lenguaje' debe poner de relieve aquí que hablar el lenguaje forma parte de una actividad o de una forma de vida" (Wittgenstein, 1988, §23).

Sin embargo, es difícil aplicar el concepto de Juegos de Lenguaje, principalmente porque Wittgenstein evita explícitamente, elaborar el concepto. En sus propias palabras: "Pues podría objetarse ahora: «! Tú cortas por lo fácil! Hablas de todos los juegos de lenguaje posibles,

pero no has dicho en ninguna parte qué es lo esencial de un juego de lenguaje y, por lo tanto, del lenguaje. Qué es común a todos esos procesos y los convierte en lenguaje, o en partes del lenguaje. Te ahorras, pues, justamente la parte de la investigación que te ha dado en su tiempo los mayores quebraderos de cabeza, a saber, la tocante a la forma general de la proposición y del lenguaje.»

Y eso es verdad-En vez de indicar algo que sea común a todo lo que llamamos lenguaje, digo que no hay nada en absoluto común a estos fenómenos por lo cual empleamos la misma palabra para todos" (Wittgenstein, 1988, §65)

Wittgenstein plantea una lista de diferentes juegos: Juegos de mesa, de caras, Juegos Olímpicos, Juegos de balón, rondas infantiles y rebotes de balón en la pared. Luego nos invita a que encontremos si esos juegos tienen algo en común, considerando aspectos como la manera en la que se comparan con aspectos como la suerte, la habilidad, el perder, el ganar, el divertirse o el tener paciencia. La conclusión de Wittgenstein es que se puede encontrar familiaridades entre uno y otro juego, pero nada transversal y presente en todos ellos Aunque no hay un concepto central que de fortaleza para estructurar el lenguaje, "la robustez de la madeja no reside en que una fibra cualquiera recorra toda su longitud, sino en que se superpongan muchas fibras" (Wittgenstein, 1988, §67). Los juegos constituyen familias, y hay semejanzas de familia entre ellos, que resultan en características similares entre algunos de ellos, pero ninguna que este presente en todos ellos.

Sin embargo, los experimentos mentales de Wittgenstein sobre los distintos tipos de juegos de lenguaje, ayudan a inferir algunas implicaciones. Por ejemplo, la realidad social es construida socialmente y tiene su base en las "formas de vida" de los actores involucrados. Esto procede de la idea de que en un juego de lenguaje "no puede seguir 'privadamente' la regla" (Wittgenstein, 1988, §202), las reglas tienen que ser socialmente construidas.

Los juegos de lenguaje también pueden ser iterados. Cuando la gente está involucrada en interacciones, las coordinaciones exitosas permiten que los actores establezcan un terreno común, como por ejemplo, cuando un grupo de practicantes desarrolla un método, en los términos de Kotarbiński (1966). Este terreno en común puede ser usado como la base para coordinaciones futuras, permitiendo la aparición de

estructuras más complejas como dialectos o estructuras de significado particular para los participantes (Moldoveanu, 2002).

En el contexto de MS/ST, podría representar comunidades de practicantes usando y desarrollando una metodología que se convierta en un medio de comunicación para facilitar, compartir y desarrollar experiencias posteriores.

Lo atractivo de esta aproximación para el propósito de esta ponencia es que el significado surge del lenguaje y de las acciones que constituyen su uso. El uso proviene de los actores y esto nos da un espacio para considerar que estos tienen un efecto en el contexto de una intervención. Adicionalmente, si todo en el lenguaje es una herramienta, existe la posibilidad de pensar todo tipo de herramientas, palabras, frases, lenguaje corporal en una intervención (porque las acciones están cubiertas por los juegos de lenguaje). Se propone que esta forma de entender herramientas se extiende incluso hasta las metodologías, un punto de vista que argumento en la sección siguiente.

#### IV USO DE METODOLOGÍAS COMO JUEGOS DE LENGUAJE

"El lenguaje es un instrumento. Sus conceptos son instrumentos. Creemos entonces que no puede tener mucha importancia que conceptos empleemos...se trata solo de una diferencia de comodidad." (Wittgenstein, 1988, §569)

Aquí usaré la filosofía de Wittgenstein para entender la metodología. Lo hago por tres razones: La primera es porque en MS/ST, las metodologías son una parte importante para saber cómo son abordadas las intervenciones. Segundo porque se requiere una manera para mirar las metodologías de manera que los actores tengan voz sobre la manera en la que se usan. Y tercero porque hay una gran variedad de metodologías con fundamentos filosóficos y teóricos, que en muchos casos, no son compatibles. Ante estas circunstancias, se requiere una perspectiva filosófica capaz de referirse a todas ellas para explicar cómo el actor puede afectarlas cuando las usa en una intervención, sin importar la procedencia de la herramienta usada.

La idea de usar juegos de lenguaje para entender metodologías es posible porque Wittgenstein considera el lenguaje como una herramienta para actuar en el

mundo. Ejemplos de lo que podemos hacer con el lenguaje son dar y obedecer órdenes, describir objetos, reportar, especular, construir y probar hipótesis, traducir, y preguntar. (Wittgenstein, 1988).

Wittgenstein también considera que hay innumerable cantidad de juegos. Esto ofrece la oportunidad para proponer más "herramientas" in términos de juegos de lenguaje.

Mauws y Phillips (1995, p.327) sostienen que el concepto es lo suficientemente poderoso para entender la ciencia de la organización y la práctica administrativa en términos de recolección de diversos juegos de lenguaje o "flexible networks of language games". En esta lógica, también es posible considerar interacciones, discursos, prácticas e intervenciones (una parte de la práctica administrativa) en contextos organizacionales en términos de Juegos de Lenguaje.

El propósito aquí es un punto intermedio entre Wittgenstein y Mauws y Phillips. Una metodología no es algo tan simple como dar una orden (aunque en el proceso de aplicarla, se pueden dar órdenes). Además, una metodología no es tan grande para abarcar a una práctica administrativa (Algo más probable para la práctica del MS/ST o un proceso complejo de intervención). Una metodología puede ser vista como parte de esta red de juegos de lenguaje, es un juego entre otros.

Las metodologías en particular son diseñadas como juegos de lenguaje. Inventar metodologías es como "inventar un lenguaje podría significar inventar un aparato para un determinado propósito" (Wittgenstein, 1988, §492). Por ejemplo, considerar los siguientes instrumentos con sus propósitos y sus enfoques diferentes: Dinámica de Sistemas "Explore the operation of a complex real-world system to aid understanding and control"; Metodología de Sistemas Suaves: "Learn about and improve a problematic situation by gaining agreement on feasible and desirable changes"; Heurística Crítica de Sistemas: "Provide support for planners and citizens to raise, explore and critique the normative implications of plans and designs" (Mingers, 2003, p.563-564).

Sin embargo, es importante clarificar que lo que se puede ver como un juego de lenguaje no es propiamente la metodología. Aquí sigo a Kay y Halpin (1999) cuando sugieren que una metodología no son los consejos, ni los principios o pasos aconsejados. Las

metodologías aparecen cuando se ponen en acción por los actores en un contexto. Las metodologías pueden ser consideradas como juegos de lenguaje cuando consisten en “el lenguaje y las acciones en las que son tejidas”.

Quizás el poder y la flexibilidad del concepto se derivan de Wittgenstein usando la noción de juegos de lenguaje como “objetos de comparación que deben arrojar luz sobre las condiciones de nuestro lenguaje por vía de semejanza y desemejanza” (Wittgenstein, 1988, §130). Usando esta idea como un postulado, se proponen otras similitudes entre juegos de lenguaje y metodologías:

- Si los juegos de lenguaje son “objetos de comparación” se pueden usar entonces para aprender y compararlos con el uso de las metodologías.
- El uso de metodologías como juegos de lenguaje involucra un todo que abarca todo el tejido de lenguaje y acciones.
- Así como pasa con juegos, las metodologías del MS/ST parecen compartir familiaridades entre algunas de ellas, pero no una característica presente en ellas.

Se podría indicar una familiaridad entre los métodos de la Investigación de operaciones (OR) clásica o las de aproximaciones suaves. Sin embargo es difícil ver la familiaridad entre la programación matemática cuyos modelos se basan en ecuaciones matemáticas y la Heurística Crítica de Sistemas in la cual los no expertos desafían expertos a través de preguntas críticas... Las metodologías, al igual que el lenguaje, evolucionan, cambian y crecen con el tiempo. “Si quieres decir que no son por ello completos, pregúntate si nuestro lenguaje es completo – si lo era antes de incorporarle el simbolismo químico y la notación infinitesimal” (Wittgenstein, 1988, §18).

## V. CONCLUSIONES

El marco de Juegos de Lenguaje mencionado en esta ponencia permite tratar un grupo completo de elementos aparentemente disímiles bajo el mismo marco. Esto a pesar de diferencias como el nivel de elaboración (considere una palabra y una metodología) o los fundamentos filosóficos (Considere modelación matemática y narraciones). En el uso, todas ellas son hebras de lenguaje y acción. Consecuentemente, todo el proceso de intervención con todas las herramientas posibles, puede ser enmarcado como múltiples juegos de lenguaje superpuestos. Esto significa que los

métodos, metodologías, chistes, historias, e incluso las palmaditas en la espalda pueden ser vistos como fibras superpuestas dando fortaleza al proceso. La posibilidad de ver todos estos elementos como juegos de lenguaje significa también que su significado no es fijo. Es dado por los actores a través de la forma en la que los usan. Los actores son importantes, y tienen voz en el proceso de intervención.

Adicionalmente, existen algunos “efectos colaterales” al trabajar con la noción de juegos de lenguaje aplicados a metodologías. Primero, para Wittgenstein, las reglas en los juegos de lenguaje no pueden ser privadas, de manera que el entendimiento del uso de una metodología necesita ser visto como una construcción social. Incluso en el caso de un uso simple por un actor individual, los conceptos y el entendimiento a partir de los cuales él/ella se guía, tienen su origen en las interacciones sociales.

Lo segundo, a parte del uso de la metodología, las interacciones, lenguaje, actividades, y las “formas de vida” en el contexto de intervención, pueden también ser consideradas en términos de juegos de lenguaje. Así, cuando estamos interviniendo, lo que estamos tratando de hacer usando metodologías (un juego de lenguaje) es afectar los juegos de lenguaje existentes, es decir, estamos usando una herramienta para modificar las herramientas que las personas, en el contexto, han desarrollado para interactuar. Lo que es más, como las herramientas modifican herramientas, también es probable que los juegos de lenguaje existentes modifiquen las metodologías en uso.

Consecuentemente, el propósito de considerar el uso de metodologías como Juegos de Lenguaje no es arrojar luz sobre los fundamentos de cada metodología. No ayudará por ejemplo, a mejorar las matemáticas detrás de la metodología que se basan en ese tipo de conocimiento. Considerar su uso como juegos de lenguaje está orientado a entender las posibilidades y los efectos que los actores pueden tener en el uso de estas herramientas, y a su vez entender como estas “actividades” y “formas de vida” tienen un efecto sobre las dinámicas de los actores involucrados en el proceso.

## VI BIBLIOGRAFIA

Garfinkel, A. (1981). *Forms of Explanation: Rethinking the Questions in Social Theory*. New Haven: Yale University Press.

- Gergen, K. J., & Leach, C. W. (2001). Introduction: The Challenge of Reconstruction. *Political Psychology*, 22(2), 227–232.
- Gergen, M. M., & Gergen, K. J. (2003). *Social Construction: A Reader*. London: SAGE.
- Hassard, J. (1990). An alternative to paradigm incommensurability in organization theory. In J. Hassard & D. Pym (Eds.), *The Theory and Philosophy of Organizations: Critical Issues and New Perspectives* (pp. 219–230). London: Routledge.
- Jackson, M. C. (2000). *Systems Approaches to Management*. New York: Kluwer/Plenum.
- Jackson, M. C., & Keys, P. (1984). Towards a System of Systems Methodologies. *The Journal of the Operational Research Society*, 35(6), 473–486.
- Kay, R., & Halpin, D. (1999). Redefining the role of the practitioner in critical systems methodologies. *Systems Research and Behavioral Science*, 16(3), 273.
- Keys, P. (1997). Approaches to Understanding the Process of OR: Review, Critique and Extension. *Omega*, 25(1), 1–13.
- Keys, P. (2002). Process of MS/OR. In H. G. Daellenbach & R. L. Flood (Eds.), *The Informed Student Guide to Management Science* (pp. 211–212). London: Thomson.
- Kotarbiński, T. (1966). *Gnosiology: The Scientific Approach to the Theory of Knowledge* (O. Wojtasiewicz, Trans.). Oxford: Pergamon.
- Maturana, H. R. (1988). Reality: The Search for Objectivity or the Quest for a Compelling Argument. *The Irish Journal of Psychology*, 9(1), 25–82.
- Mauws, M. K., & Phillips, N. (1995). Understanding Language Games. *Organization Science*, 6(3), 322–334.
- Mingers, J. (2003). A classification of the philosophical assumptions of management science methods. *The Journal of the Operational Research Society*, 54(6), 559.
- Moldoveanu, M. (2002). Language, games and language games. *Journal of Socio - Economics*, 31(3), 233.
- Nodoushani, O. (1999). Systems Thinking and Management Epistemology. *Systemic Practice and Action Research*, 12(6), 557–571.
- Schwandt, T. A. (2000). Three Epistemological Stances For Qualitative Inquiry: Interpretivism, Hermeneutics, and Social Constructionism. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of Qualitative Research* (2nd ed., pp. 189–213). Thousand Oaks: SAGE.
- Stern, D. G. (2004). *Wittgenstein's Philosophical Investigations: An Introduction*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Varela, F. J. (1979). *Principles of Biological Autonomy*. Limerick: Elsevier.
- Von Foerster, H. (1989). The Need of Perception for the Perception of Needs. *Leonardo*, 22(2), 223–226.
- Von Glasersfeld, E. (1996). Farawell to Objectivity. *Systems Research*, 13(3), 279–286.
- White, L., & Taket, A. (1997). Critiquing Multimethodology as metametodology: working towards pragmatic pluralism. In J. Mingers & A. Gill (Eds.), *Multimethodology: The Theory and Practice of Combining Management Science Methodologies* (pp. 379–405). Chichester: Wiley.
- Winograd, T., & Flores, F. (1986). *Understanding computers and cognition: a new foundation for design*. Norwood, N.J: Ablex.
- Wittgenstein, L. (1922). *Tractatus logico-philosophicus* (C. K. Ogden, Trans.). London: Kegan Paul, Trench, Trubner & Co.
- Wittgenstein, L. (1988). *Investigaciones Filosóficas*. México: Critica.

## 101. DE PROBLEMAS UNIVERSALES A PREOCUPACIONES INDIVIDUALES: LA GESTIÓN SISTÉMICA DE LA COOPERACIÓN EN LOS RECURSOS COMUNES

**DRA. GLORIA PÉREZ SALAZAR**

Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Tecnológico de Monterrey  
Eugenio Garza Sada 2501 Sur, Monterrey, N.L., México  
gloria.perez@itesm.mx

### RESUMEN

Las sociedades están cambiando. Estamos enfrentando una nueva realidad, caracterizada por una creciente complejidad, dinamismo y pluralidad, lo cual demanda una reconfiguración de la relación Estado-Sociedad. En este nuevo contexto, los problemas relativos a la gestión de bienes públicos y recursos comunes que emergen presentan un nivel de complejidad elevado debido a la naturaleza de los actores, su interacción y los recursos que están en juego, provocando que la gestión unilateral del Estado a través de sus instituciones sea insuficiente. La pluralidad, una de las características de esta nueva sociedad, demanda espacios de interacción y una visión holística por parte de los agentes del Estado al momento de acotar estos problemas y darles solución.

Sin embargo, si bien se han tenido avances significativos en el tema de participación de organizaciones de la sociedad civil en la construcción de una agenda ciudadana –desde los afectados- esta no necesariamente captura la problemática ni permea a los agentes públicos responsables de su implementación. Lo anterior provoca que, en lugar de sumar esfuerzos, se multipliquen los conflictos entre los grupos afectados y los agentes del estado, quienes buscarían imponer soluciones generalistas como única forma de atender un problema complejo caracterizado por conflictos.

En el presente artículo se revisa un caso relativo a la gestión de recursos comunes, en el cual se pone de manifiesto cómo las soluciones tradicionales para este tipo de problemas no solamente son insuficientes, sino que demandan de todos los actores involucrados, tanto del ámbito público como privado, capacidades para visualizar la naturaleza holística y compleja del fenómeno y proponer cursos de acción pertinentes y posibles soluciones para el mismo. Estas capacidades son la base de lo que se propone como Gestión Sistémica de la Cooperación, marco al cual se llega a través del enfoque metodológico de Investigación-Acción en comunidades pesqueras del Golfo de California, en México.

**PALABRAS CLAVE:** cooperación, pensamiento sistémico, recursos comunes, gobernanza



## 102. LA DINÁMICA DEL PESO SEGÚN LA DIETA Y EL EJERCICIO

**JORMARY NOGUERA MUÑOZ, WILMER ANDRÉS PALOMINO ARGUELLO**

Universidad Industrial de Santander – UIS, Calle 9 # 27 Bucaramanga - Colombia  
 jormary.noguera@correo.uis.edu.co, wilmer.palomino1@correo.uis.edu.co

### ABSTRACT

Obesity and overweight are among the major public health problems of this century. And it is not unknown the relationship they have with cardiovascular disease (CVD). This work has been developed considering the importance for a person suffering from obesity or you can get to suffer, to understand the process by which we explain that we increase or decrease in weight as our daily food intake and exercise, plus bring a real approach of the future person if you continue with your current habits.

**KEYWORDS:** weight control, CVD, diet, exercise, modeling and simulation, system dynamics.

### RESUMEN

La obesidad y el sobrepeso son unos de los mayores problemas de salud pública de este siglo. Y no es desconocida la relación que estos presentan con las enfermedades cardiovasculares (ECV). Este trabajo se ha desarrollado pensando en la importancia que tiene para una persona que sufre de obesidad o que puede llegar a sufrirla, comprender el proceso mediante el cual podemos explicarnos porque incrementamos o disminuimos de peso según nuestra ingesta alimentaria y el ejercicio diario, además de acercar una aproximación real del futuro de la persona si continua con sus hábitos actuales.

**PALABRAS CLAVE:** control de peso, ECV, dieta, ejercicio, modelado y simulación, dinámica de sistemas.

### I. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la mayor causa de muerte a nivel mundial [1]. Estas se deben a trastornos del corazón y de los vasos sanguíneos. Actualmente uno de los principales factores de riesgo de las ECV son la obesidad y el sobrepeso, que se definen como una acumulación anormal o excesiva de grasa.

Varios estudio han demostrado que el exceso de peso no se limita a factores mediadores tradicionales como hipertensión, dislipemia y diabetes mellitus tipo 2. También podría causar enfermedad cardiovascular mediante otros mecanismos como inflamación subclínica, disfunción endotelial, aumento del tono simpático, perfil lipídico aterogénico, factores trombogénicos y apnea obstructiva del sueño [2][3].

En este proyecto nos enfocaremos en la intervención del peso como posible disminución del riesgo de ECV [4]. Ya que a pesar de que la obesidad y el sobrepeso son

unos de los más grandes desafíos de la salud pública del siglo XXI, que afecta todas las edades y grupos socioeconómicos [5], es un factor de riesgo de ECV comportamental que puede prevenirse con una alimentación saludable y actividad física periódica. Este trabajo fue desarrollado como proyecto de clase, para la materia de modelado estructural dirigida por el profesor Hugo Hernando Andrade Sosa director y fundador del Grupo SIMON de investigación de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga Colombia; utilizando el software Evolución, software para DS desarrollado por el grupo SIMON.

### II. DINAMICA DE SISTEMAS COMO LENGUAJE PARA REPRESENTAR EL CONOCIMIENTO PARA ESTABLECER DIETA Y EJERCICIO.

Para controlar el peso en las personas es necesario primero comprender su comportamiento; entender el por qué se sube o se baja de peso y que factores intervienen

en este proceso. La dinámica de sistemas nos ayuda en este caso, ya que esta pretende comprender la causa estructural que provoca el comportamiento del sistema, además de representar ciclos de realimentación y relaciones no lineales que están presentes en este sistema (variación del peso).

Para el desarrollo del modelo con dinámica de sistemas se utiliza la metodología de los "Cinco Lenguajes" planteada por el grupo SIMON de investigaciones en su libro de pensamiento sistémico [8].

### III. COMPORTAMIENTO DEL PESO: SISTEMA DINÁMICO.

Mantener un peso saludable se vuelve una lucha constante para muchas personas que buscan una mejor calidad de vida, resultando importante conocer la dinámica de este proceso.

Esta variación es determinada fundamentalmente por dos aspectos: el aumento o disminución del suministro de energía alimentaria (ingesta de calorías) y la actividad física (consumo de calorías) que realice la persona [6]. Para saber si se presenta este aumento o disminución de energía al consumir alimentos (que al final dirá si hay una disminución o aumento del peso) es necesario primero determinar cuál es el gasto energético que presenta la persona, que será el mínimo de calorías requeridas para subsistir; y que en este trabajo se determinan a través de ecuaciones predictivas, específicamente en la ecuación de Harris-Benedict.

En esta ecuación para determinar el gasto energético se halla primero el Índice Metabólico Basal (IMB) que es: la cantidad de las calorías diarias necesarias para mantener las funciones básicas de su cuerpo, y luego se multiplica por un factor de actividad [7].

Hombres	$IMB = (10 \times \text{peso en kg}) + (6,25 \times \text{altura en cm}) - (5 \times \text{edad en años}) + 5$
Mujeres	$IMB = (10 \times \text{peso en kg}) + (6,25 \times \text{altura en cm}) - (5 \times \text{edad en años}) - 161$

Poco o ningún ejercicio	Calorías diarias necesarias = $IMB \times 1,2$
Ejercicio ligero (1-3 días a la semana)	Calorías diarias necesarias = $IMB \times 1,375$

Ejercicio moderado (3-5 días a la semana)	Calorías diarias necesarias = $IMB \times 1,55$
Ejercicio fuerte (6-7 días a la semana)	Calorías diarias necesarias = $IMB \times 1,725$
Ejercicio muy fuerte (dos veces al día, entrenamientos muy duros)	Calorías diarias necesarias = $IMB \times 1,9$

Ya teniendo el dato de las calorías diarias necesarias, podemos determinar si lo que se consume es mayor o menor. Si lo consumido es mayor a lo gastado va a presentarse un aumento en el peso, si es menor, una disminución.

Aquí se puede observar que la diferencia entre las calorías necesarias y las consumidas influye en la variación del peso, pero que de cierta forma el peso influye en esta diferencia, ya que esta como variable en la ecuación de Harris-Benedict.

Si bien el peso puede disminuir simplemente al consumir menos calorías, no es la única manera de que este baje. El ejercicio lo disminuye de manera directa. En este modelo la disminución de calorías por ejercicio está dado por la ecuación tomada del estudio titulado "Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise."

- Hombres:  $((-55.0969 + (0.6309 \times RC) + (0.1988 \times P) + (0.2017 \times E))/4.184) \times 60 \times T$
- Mujeres:  $((-20.4022 + (0.4472 \times HR) - (0.1263 \times P) + (0.074 \times E))/4.184) \times 60 \times T$

Dónde:

- RC: Ritmo Cardiaco. (Pulsaciones/minuto)
- P: Peso (Kilogramos)
- E: Edad (Años)
- T: Tiempo de duración del ejercicio (Horas)

Aun cuando el ejercicio influye en el gasto de calorías de la persona, también lo hace en el requerimiento de calorías que esta tenga.

En este caso nos enfocamos principalmente en la intensidad del ejercicio que la persona realiza, tomando como parámetros la frecuencia máxima de la persona y la frecuencia durante el ejercicio:  $Intensidad = FEj/FMax$ . Y determinar el valor multiplicador de la tabla usando como referencia los siguientes valores.



## Diagrama de Flujos y Niveles:

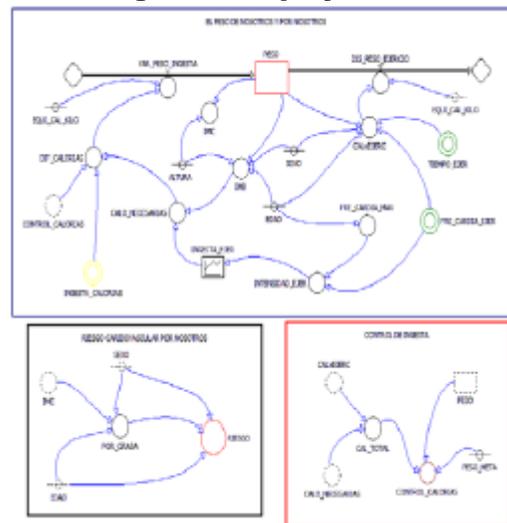


Figura 3. Diagrama Flujos y Niveles

Tabla 2. Ecuaciones Matemáticas y Valores Iniciales para Diagrama de Flujos y Niveles

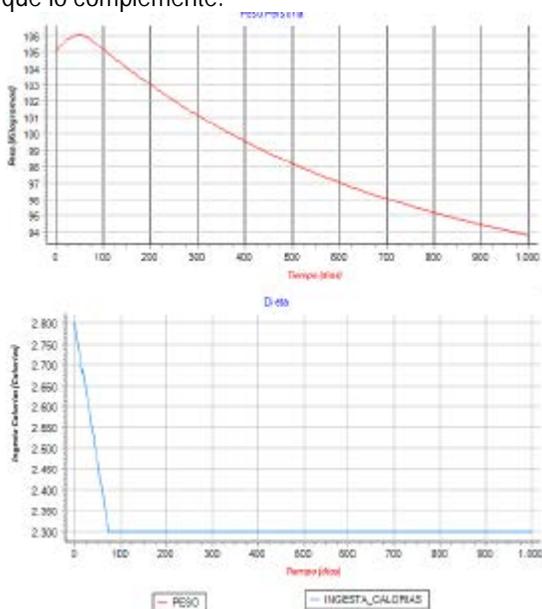
Tipo	Nombre variable	Unidades	Ecuación/Valor inicial
Niveles	Peso	Kilogramos	105
Flujos	Vari_Peso_Ingest	Kilogramos	Dif_Calorias/Equi_Cal_Kilo
	Dism_Peso_Ejerci	Kilogramos	CalxJerc/Equi_Cal_Kilo
Parámetros	Altura	Centímetros	180
	Edad	Años	23
	Sexo	Hombre= 0 ; Mujer = 1	0
	Equi_Cal_Kilo	Calorias/Kilogramos	7700
	Peso_Meta	Kilogramos	80
Variables Auxiliares	Dif_Calorias	Calorias	if(Control_Calorias=0,(Ingesta_Calorias-Calo_Necesarias), (Control_Calorias-Calo_Necesarias))
	Calo_necesarias	Calorias	DMB*Ingesta_Ejer
	IMC	Kilogramos/m <sup>2</sup>	Peso/((Altura/100) <sup>2</sup> )
	DMB	Calorias	if(Sexo=1,(10*Peso)+(6.25*Altura)-(5*Edad)-161,(10*Peso)+(6.25*Altura)-(5*Edad)+5)
	Fre_cardia_max	Pulsaciones por minuto	208.75-(0.73*Edad)
	Intensidad	Adimensional	Fre_Cardia_Ejer/Fre_Cardia_Max
	Caljeerc	Calorias	IF(Sexo=1,((( -20.4022)+(0.4472*Fre_Cardia_Ejer)-(0.1263*Peso)+(0.074*Edad))/4.184)*Tiempo_Ejer, (((-55.0969) + (0.6309*Fre_Cardia_Ejer) + (0.1989*Peso) + (0.2017*Edad))/4.184)*Tiempo_Ejer)
Por_grasa	Adimensional	IF(Sexo=0,-44.988+0.503*Edad+3.172*IMC-0.026*IMC*IMC+(0.181*IMC*Sexo)-0.02*IMC*Edad-(0.005*IMC*IMC*Sexo)+0.00021*IMC*IMC*Edad, -44.988+0.503*Edad+10.689*Sexo+3.172*IMC-0.026*IMC*IMC+0.181*IMC*Sexo-0.02*IMC*Edad-0.005*IMC*IMC*Sexo+0.00021*IMC*IMC*Edad)	

	Riesgo	Adimensional	IF(SEXO=0, IF(EDAD<40, IF(POR_GRASA<10,1,IF(POR_GRASA<20,2,IF(POR_GRASA<22,3,IF(POR_GRASA<25,4,IF(POR_GRASA<29,5,IF(POR_GRASA<32,6,7)))))) , IF(EDAD<60, IF(POR_GRASA<12,1,IF(POR_GRASA<22,2,IF(POR_GRASA<25,3,IF(POR_GRASA<28,4,IF(POR_GRASA<31,5,IF(POR_GRASA<36,6,7)))))) , 0 ) , IF(EDAD<40, IF(POR_GRASA<21,1,IF(POR_GRASA<30,2,IF(POR_GRASA<36,3,IF(POR_GRASA<39,4,IF(POR_GRASA<43,5,IF(POR_GRASA<46,6,7)))))) , IF(EDAD<60, IF(POR_GRASA<23,1,IF(POR_GRASA<34,2,IF(POR_GRASA<37,3,IF(POR_GRASA<40,4,IF(POR_GRASA<43,5,IF(POR_GRASA<46,6,7)))))) , 0 ) ) )
	Cal_Total	Calorías	CalxEjerc+Calo_Necesarias
	Control_Calorias	Calorías	IF(PESO<=PESO_META,CAL_TOTAL,0)
Relaciones no lineales	Ingesta_Ejer	Dimensional	INTPASO(2,0,0,1,1,2,1,2,1,2,1,2,1,2,1,2,1,375,1,55,1,725,1,9)
Variables Exógenas	Ingesta_Calorias	Calorías	INTSPLINE(2,0,15,3000,2900,2800,2700,2600,2500)
	Tiempo_Ejer	Dimensional	INTSPLINE(2,0,15,15,19,60976,24,14634,35,45,60,36585,70,83,1,2195,90)
	Fre_Cardia_Eje	Dimensional	INTSPLINE(2,0,15,90,100,105,110,115,120,125,130,135,140)

**SIMULACIONES:**

Con ayuda de los diagramas de flujos se cuenta con la posibilidad de simular distintos escenarios muy ilustrativos para el entendimiento de la dinámica del peso de las personas.

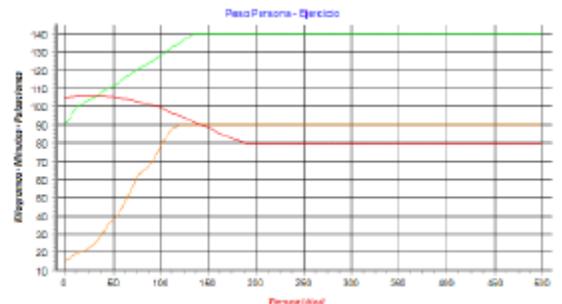
Primero se toma en cuenta la variación del peso cuando la persona se compromete a seguir un régimen alimenticio específico con un número máximo de calorías diarias y no practicar una rutina de ejercicios que lo complemente.

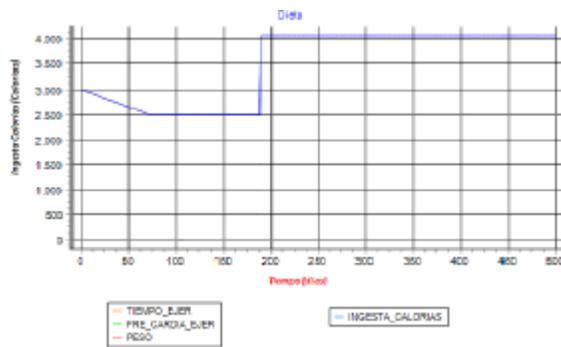


Grafica 1. Peso - Ingesta de Calorías (Dieta)

En este caso con un horizonte de tiempo de 1000 días, la ingesta de calorías inicia con 2800 calorías y este número se reducirá cada 15 días en 100 calorías hasta llegar a 2500 para que la persona pueda bajar de peso en un tiempo, como se muestra en el ciclo de realimentación negativo “Según comida”; que se fundamenta cuando la persona tiene el número mínimo en la ingesta de calorías el peso muestra un comportamiento de estabilización después que la ingesta sea la suficiente para mantener el peso , y como se muestra en la gráfica 1 la persona tendrá un comportamiento de disminución de peso con el paso del tiempo de una forma no radical.

Ahora para establecer la importancia de tener una rutina diaria de ejercicio el siguiente escenario muestra cómo influye la dinámica del peso con un régimen alimenticio y una rutina diaria de ejercicio variable en su tiempo y su intensidad, representando el ciclo de realimentación negativo “Según ejercicio”.





Gráfica 2. Peso – Frecuencia Cardíaca – Tiempo de Ejercicio – Ingesta de Calorías

Siguiendo la gráfica 2 donde se maneja un horizonte de tiempo de 500 días (menos tiempo que la anterior) la cantidad de ejercicio (tiempo de ejercicio creciente y frecuencia cardíaca creciente) refleja la rapidez de cambio en peso además de manejar una cantidad en la ingesta de calorías mayor al anterior para mantener un balance en la persona, su estabilización se refleja al momento de igualar el número de calorías consumidas por el ejercicio con la ingesta de calorías ayudando a mantener un peso constante.

#### IV. CONCLUSIONES

Se aprecia que la dinámica de sistemas es un buen recurso para explicar y recrear la dinámica del peso de una persona según la dieta y el ejercicio. Dado que visualiza a la persona con sus hábitos alimenticios y físicos, le muestra un riesgo mayor o menor, pero fundamentalmente le inspira el “miedo” o la preocupación por corregir sus malos hábitos.

Mostrar a la persona afectada de obesidad las simulaciones facilita el cambio significativo de su actitud y permite proyectarle en el tiempo el efecto esperado de las recomendaciones médicas; así como mostrarle las situaciones, cercanas a la realidad, donde podría ser capaz de mejorar su situación de salud.

El modelo se convierte en una herramienta de aprendizaje para que la persona comprenda de una manera clara las dificultades que representa una desproporción de ingesta y consumo de calorías. Apoyándose en la hipótesis dinámica en donde influyen de manera directa las variables exógenas (los hábitos de la persona), la persona comprende la importancia de generar nuevas rutinas alimenticias y física, además de llevar un control sin degenerar su cuerpo al extremo.

Por último, el modelo es capaz de reflejar la influencia de la ingesta de calorías, el consumo por la cantidad de ejercicio, en el peso de la persona manejando estándares de estudios realizados e información externa consultada por los autores, sin embargo una limitación surge al momento de consultar a la persona sobre su ingesta de calorías y frecuencia cardíaca, ya que estos datos pueden manejar grandes márgenes de error si la persona no está relacionada con los conceptos utilizados. Además es de resaltar que la herramienta es una ilustración de la realidad por lo que lo fundamental es inspirar conciencia y preocupación hacia el descuido alimenticio de las personas con obesidad presente o en riesgo de padecerla.

#### REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud [en línea]. Las 10 causas principales de defunción en el mundo. Actualizada: Mayo 2014. [Fecha de consulta: 12 Septiembre 2015]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/es/>
2. Revista Español de Cardiología [en línea]. Obesidad y Corazón. Actualizada: Febrero 2014. [Fecha de consulta: 05 Septiembre 2015]. Disponible en: <http://www.revespcardiol.org/es/obesidad-corazon/articulo/13191034/>
3. Narkiewicz K, Wolf J, Lopez-Jimenez F, Somers VK. Obstructive sleep apnea and hypertension. *Curr Cardiol Rep.* 7(6):435-40. 2005
4. Texas Heart Institute [en línea]. Factores de riesgo cardiovascular. Actualizada: Diciembre 2014. [Fecha de consulta: 10 Septiembre 2015]. Disponible en: [http://www.texasheart.org/HIC/Topics\\_Esp/HSmart/riskspan.cfm](http://www.texasheart.org/HIC/Topics_Esp/HSmart/riskspan.cfm)
5. Organización Mundial de la Salud [en línea]. Obesidad y sobrepeso. Actualizada: Enero 2015. [Fecha de consulta: 22 Agosto 2015]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>
6. Organización Mundial de la Salud [en línea]. Dieta y actividad física. [Fecha de consulta: 30 Agosto 2015]. Disponible en: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/es/>
7. Osuna I. [en línea]. Ecuaciones Predictivas del Gasto Energético: Integrando a nuestra Práctica Clínica la Evidencia Científica. Actualizada: Marzo 2014. [Fecha

de consulta: 26 Septiembre 2015]. Disponible en:  
[https://eduardolobatonrd.wordpress.com/2014/03/01/ecuaciones\\_predictivas\\_gasto\\_energetico/](https://eduardolobatonrd.wordpress.com/2014/03/01/ecuaciones_predictivas_gasto_energetico/)  
8. Andrade, Hugo et al. Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de Unidad. Página 23, 24, 235. Ediciones Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2001.