

MAESTRIA EN MODELADO Y SIMULACION (MM&S)

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA



Universidad de Bogotá
JORGE TADEO LOZANO



UNIVERSIDAD
CENTRAL

Tabla de Contenido

1.	DENOMINACIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA	1
2.	JUSTIFICACIÓN	6
2.1.	Estado actual de la formación en el área de Modelado y Simulación	7
2.1.1.	Ámbito Internacional	7
2.1.2.	Ámbitos Nacional y Regional.....	10
2.2.	Estudio comparativo.	12
2.3.	Demandas Potenciales y Realizadas en función de las necesidades del país	18
2.4.	Pertinencia e impacto del programa.....	24
2.4.1.	Pertinencia Institucional	24
2.4.2.	Coherencia con la Misión y el PEI de las Instituciones.....	26
2.5.	Rasgos distintivos del programa	28
3.	CONTENIDOS CURRICULARES	31
3.1	Fundamentación teórica del Programa	31
3.1.1	Sistemas Naturales.....	34
3.1.2	Sistemas Sociales	38
3.1.3	Sistemas y Procesos en Ingeniería	42
3.2	Propósitos de formación, competencias y perfiles (profesional y ocupacional) definidos.....	44
3.2.1	Propósitos de Formación	44
3.2.2	Competencias.....	45
3.2.2.1	Competencias Genéricas.....	46
3.2.2.2	Competencias Específicas	46
3.2.3	Perfil profesional.....	47
3.2.4	Perfil ocupacional.....	48
3.3	Estructura y organización curricular	48
3.3.1	El plan general de estudios representado en créditos académicos.....	48
3.3.2	Componente de la estructura curricular	49
3.3.2.1	Componente básica o disciplinar	49
3.3.2.2	Componente de formación avanzada o flexible	51
3.3.2.3	Componente de Investigación / Profundización.....	51
3.3.3	Organización general de las actividades académicas	53
3.3.4	Campos y Líneas de profundización e investigación.....	54
3.3.4.1	Campo de sistemas naturales	55
3.3.4.2	Campo de sistemas y procesos de ingeniería	58
3.3.4.3	Campo de Sistemas sociales	60
3.4	Componente de interdisciplinariedad del Programa.....	63
3.4.1	Estrategias de flexibilización para el desarrollo del programa	63
3.4.2	Lineamientos pedagógicos y didácticos adoptados en las instituciones según la metodología y modalidad del programa.....	65
4.	ORGANIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ACADÉMICAS.....	69
4.1.	El trabajo presencial.....	69
4.2.	El trabajo independiente.....	69
4.3.	El Curso Dirigido	70
4.4.	El trabajo de Grado	70
4.4.1.	Trabajo de grado en la modalidad de investigación: Tesis de Maestría	71
4.4.2.	Trabajo de grado en la modalidad de profundización: Trabajo de grado.....	72

4.5.	El seminario.....	72
4.6.	El Estudio de Caso	74
4.7.	El laboratorio.....	75
4.8.	Apoyo académico desde la Virtualización.....	76

1. DENOMINACIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA

El programa de posgrado propuesto para ser desarrollado en convenio entre la Universidad Jorge Tadeo Lozano (UJTL) y la Universidad Central se denomina MAESTRÍA EN MODELADO Y SIMULACIÓN (MM&S). Con base en los Artículos 7 y 12 de la Ley 30 de 1992, este programa corresponde a los campos de acción de la Ciencia y de la Técnica porque pretende ampliar, generar, desarrollar y aplicar conocimientos científicos y tecnológicos integrales con el fin de formar profesionales capaces de realizar trabajos de aplicación y científicos de alta calidad, para la solución de problemas complejos disciplinarios, interdisciplinarios o profesionales.

La Maestría tiene como objetivo formar conocimiento alrededor de las metodologías conceptuales, cuantitativas y computacionales para la solución de problemas y la investigación de sistemas reales tales como los sistemas naturales, los sistemas de ingeniería y los sistemas sociales, mediante el estudio, implementación y desarrollo de modelos y simulaciones.

En general un modelo puede ser entendido como una representación, bien sea abstracta, análoga, fenomenológica o idealizada, de un objeto que puede ser real o ficticio. En este caso y por su naturaleza, el programa de maestría propuesto se ocupará de modelos fenomenológicos y/o modelos de procesos que requieren el uso formal de herramientas matemáticas y/o computacionales para representar algún sistema y su comportamiento.

Mediante el modelado se busca mejorar el conocimiento y la comprensión de un fenómeno o proceso y ello involucra el estudio de la interacción entre las partes de un sistema y el sistema como un todo. Desde esta perspectiva es apropiado afirmar que las teorías están integradas por dos grandes elementos conceptuales no del todo separables: a) Un formalismo, es decir, un aparato matemático con unas reglas operativas para calcular y b) una interpretación, es decir, una ontología que cuenta, en correspondencia con el formalismo, cuál es la imagen de los fenómenos, de los procesos y del mundo que la teoría pretende describir o explicar. El modelado permite, al nivel de la teoría, acercar el formalismo científico a su interpretación con el fin de lograr una mejor comprensión, explicación y descripción de los sistemas estudiados. Sin embargo, uno de los desafíos más grandes de la ciencia en general, tal como lo refiere el documento Science2020¹, es el de integrar las teorías, sus modelos y la experimentación.

La efectividad de los modelos como herramientas de certidumbre científica o como instrumentos de garantía para tomar decisiones sobre procesos de ingeniería, depende del nivel de correspondencia que pueda lograrse, dentro de los rangos relevantes, entre el modelo y el sistema real representado; entre el comportamiento observado al operar el modelo y el comportamiento observado de la experimentación sobre el sistema real.

¹Science 2020, 2006:

http://research.microsoft.com/enus/um/cambridge/projects/towards2020science/downloads/T2020S_ReportA4.pdf

Si hemos denominado modelo, en este contexto, a la representación matemática y /o computacional de un sistema, podemos llamar simulación a la operación matemática y computacional de un modelo que comprende la representación temporal del comportamiento o la evolución de un sistema para formalizar, con técnicas computacionales, la experimentación artificial de un fenómeno o proceso. Es en este sentido que Shannon definió la simulación como “el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con el mismo con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o de evaluar nuevas estrategias, dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de ellos, para el funcionamiento del sistema.²”

Por su parte Banks, Carson y Nelson, la definen como “la imitación de la operación de un proceso del mundo real o sistema sobre el tiempo. La simulación comprende la generación de una historia artificial de un sistema, y la observación de tal historia artificial con el fin de extraer inferencias concernientes a las características de operación del sistema real representado.³”

El área de conocimiento del Modelado y Simulación (M&S) constituye en sí una disciplina válida de estudio en un posgrado. Se reconoce que el grado de comprensión que se puede obtener mediante esta disciplina es difícilmente alcanzable utilizando otro enfoque disciplinar. Internacionalmente se ha convertido en los últimos años, gracias a los avances particulares de la disciplina, en una ciencia autónoma, tal como ocurre en las maestrías de la Universidad de los Andes (Venezuela), Universidad Pontificia de Comillas (España), Old Dominion University (Estados Unidos), University of Central Florida (Estados Unidos) o Blekinge Institute of Technology (Suecia), entre otras.

La importancia de la disciplina del Modelado y la Simulación actualmente se evidencia en las tendencias de las ciencias y áreas en las cuales ella se aplica (Biología, Ecología, Economía, Ciencias Ambientales, Ingeniería, Nanotecnología, Ciencias sociales, por citar algunas), y también en las disciplinas básicas que le dan su soporte (Matemáticas, Estadística, Física y Ciencias de la Computación).

Por ejemplo, en el documento “BIO2010” del “National Research Council of the National Academies” de Estados Unidos, en el que se consignan los lineamientos básicos a seguir para la enseñanza e investigación de la Biología del siglo XXI, se recalca la importancia de la formación interdisciplinaria para enfrentar los nuevos problemas de esta disciplina. Se hace especial énfasis en la instrucción en Matemáticas, Física y las Ciencias de la Información, de sus métodos, conceptos, herramientas y modelos, como fundamentos para el ejercicio profesional e investigativo de los biólogos del siglo XXI. En el documento Science 2020, que resalta el papel que desempeñarán las ciencias de la computación en el desarrollo general de las ciencias, se llega a considerar que las ciencias de la computación,

² Shannon, R. & J. D. Johannes. 1976. “Systems simulation: the art and science”. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 6(10). pp. 723-724.

³ Banks J., Carson J.S. & B. L. Nelson. 2000. *Discrete Event Systems Simulation*. Prentice-Hall.

y en particular el enfoque del modelado y la simulación, jugarán un papel tan esencial en el desarrollo de las ciencias naturales (ecología, meteorología, biología) como el que la matemática ha desempeñado en el desarrollo de la física.

En el contexto de la ingeniería, especialmente en las dos últimas décadas, ha cobrado importancia la implementación del modelado y la simulación como una herramienta indispensable y transversal para resolver problemas científicos y tecnológicos planteados desde las ingenierías de sistemas, civil, química, industrial, biomédica, mecánica y otras. Todas las disciplinas de la ingeniería -y así concluye al respecto el reporte de la National Science Foundation⁴- deberán incorporar los beneficios y ventajas que resultan del modelado y la simulación, especialmente en lo referente a la optimización, el control, la cuantificación de incertidumbres, el diseño de mecanismos para toma de decisiones y la respuesta a desafíos en tiempo real, para su incorporación al desarrollo en el mundo competitivo del siglo XXI.

Desde la propia disciplina de las Matemáticas, específicamente desde el área de la Matemática Aplicada y las Matemáticas Industriales, se han obtenido a lo largo del último siglo desarrollos orientados a la utilización de sus herramientas, modelos y conceptos en las demás ciencias (exactas, no exactas y aplicadas). La Matemática Aplicada es fundamental como base para el desarrollo de los métodos numéricos, modelos matemáticos y simuladores para cualquier disciplina que los requiera. El interés de la propia comunidad de matemáticos en la aplicación de su disciplina se evidencia en la creación y consolidación de asociaciones internacionales en el área de la Matemática Aplicada y las Matemáticas Industriales como el ICIAM (International Council for Industrial and Applied Mathematics)⁵, IMU (International Mathematical Union)⁶ o el CIMPA (International Center for Pure and Applied Mathematics)⁷, que tienen como principal objetivo el avance de esta área y la implementación, en contextos disciplinares y aplicados, de sus modelos a las demás ciencias.

Por otro lado, la perspectiva económica y de optimización en temas relacionados con el desarrollo sostenible, o la gestión de recursos naturales, resultan de suma importancia en el contexto actual, a nivel nacional, regional e internacional. La aproximación por Dinámica de Sistemas (System Dynamics) es uno de los enfoques que ha sido empleado desde mediados del siglo pasado en este sentido^{8 9 10}, y el cual se piensa implementar en

⁴ Simulation-Based Engineering Science. Revolutionizing Engineering Science through Simulation: Report of the National Science Foundation (U.S.A.), May 2006:
http://www.nsf.gov/pubs/reports/sbes_final_report.pdf.

⁵ http://www.iciam.org/council/council_tf.html

⁶ <http://www.mathunion.org/>

⁷ <http://www.cimpa-icpam.org/>

⁸ Ford, A. 1999. *Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics of Environmental Systems*. Washington DC: Island Press.

⁹ Forrester, J. W. 1968. *Principles of Systems*. Cambridge MA: Productivity Press.

¹⁰ Maani, K. E., & R. Y. Cavana. 2007. (First edition published in 2000) *Systems Thinking, System Dynamics: Managing Change and Complexity, Second Edition*. Auckland: Pearson Education New Zealand.

la maestría. Otro ejemplo, específicamente en el campo de la gestión de recursos pesqueros, lo da el prestigioso Instituto MIFIMA (Mathematics, Informatics and Fisheries Management)¹¹, en donde se desarrollan herramientas matemáticas y computacionales usando conocimientos teóricos de la Teoría del Control y los Sistemas Dinámicos.

En las ciencias económicas ya se cuenta con una tradición de más de medio siglo en la implementación de modelos y simulaciones adaptados especialmente de la física, como el modelado de precios de mercado utilizando ecuaciones de dispersión, el uso de las herramientas de la física estadística en análisis financieros, la valoración de derivados financieros usando la ecuación de difusión de Fourier o el uso del modelo del movimiento browniano para predecir y justificar tasas de inflación y de interés. Más reciente es la certeza de que el edificio disciplinar de otras ciencias sociales requiere, para avanzar hacia teorías con capacidad explicativa, descriptiva y predictiva formal, de la implementación del modelado y la simulación^{12 13}. Esta convicción ha sido impulsada por los avances en la matemática de los algoritmos y por la disponibilidad, cada vez más generalizada, de equipos de cómputo con la capacidad para procesar grandes cantidades de información a bajo costo. El objetivo central es el de tratar de desarrollar e implementar modelos y simulaciones computacionales que permitan comprender la dinámica social en cuestiones relacionadas con la formación de opiniones, la demografía, la antropología y la sociología matemática, los modelos educativos y otras¹⁴.

Tal como su denominación lo indica, el programa propuesto tendrá como objeto general de estudio el área de modelado y simulación. Estructuras conceptuales como los sistemas o procesos de ingeniería, los sistemas naturales y los sistemas sociales serán los Campos de Aplicación del Modelado y Simulación en el marco de la Maestría. Mediante el modelado y la simulación se busca, por una parte, avanzar en la comprensión y, por otra, solucionar en forma precisa y en términos cuantitativos aquellos problemas aplicados que involucran, por ejemplo, predicciones sobre la evolución de un fenómeno o sobre el comportamiento de un diseño tecnológico, toma estratégica de decisiones bien informadas, gestión y/o evaluación de riesgos.

El enfoque natural para implementar este tipo de soluciones requiere de herramientas conceptuales sustentadas en el estudio de los Sistemas Dinámicos, de la Teoría General de Sistemas, de los Algoritmos y métodos de Optimización -bien sea económica y/o de Procesos de Ingeniería- y en el estudio y desarrollo de algoritmos matemáticos, estadísticos y/o computacionales para el modelado y la simulación de sistemas. Todas estas herramientas conceptuales constituirán el eje fundamental y curricular del programa. Para lograr este cometido, la Maestría en Modelado y Simulación se ofrecerá

¹¹ http://cermics.enpc.fr/~delara/MIFIMA/MIFIMA_web/

¹² Birkin M., Dew P., McFarland, O., Hodrien, J. 2005. "Hydra: A prototype grid-enabled decision-support system". *Proceedings of the First International Conference on e-Social Science*, National Centre for e-Social Science, Manchester.

¹³ World Journal of Modelling and Simulation (WJMS)

¹⁴ Hegselmann R. et al. (eds.). 1996. "Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View". *Theory and Decision Library*. Dordrecht: Kluwer, 77-100.

en las modalidades de investigación (58 créditos) y de profundización (50 créditos). En ambos casos tendrá una duración aproximada de cuatro semestres, durante los cuales el alumno tomará las asignaturas obligatorias y electivas contempladas en el currículo, además de presentar su trabajo de investigación o de profundización, según el caso, como requisito para graduarse.

2. JUSTIFICACIÓN

La Educación Superior, como actividad esencial para el desarrollo social, económico y cultural, tiene la misión de abordar retos, problemáticas y oportunidades para ofrecer a la sociedad, soluciones útiles, viables y pertinentes. En este contexto, uno de los frentes de mayor relevancia para la sostenibilidad económica y la prosperidad general es el aprovechamiento de las capacidades y fortalezas en Ciencia y Tecnología que permita enfrentar exitosamente tal desafío.

Una de las vías de acción para lograr este cometido, es la creación de espacios académicos donde se genere y aplique el conocimiento, relacionado con el diseño e implementación de herramientas tecnológicas, metodológicas y materiales que respondan a las necesidades de la sociedad.

A escala internacional, tal exigencia ha derivado en un creciente interés por la creación de programas académicos cuyos egresados sean capaces de abordar problemas de investigación básica y aplicada con diversos grados de complejidad. Para la solución de tales problemas se requiere la integración de elementos formales matemáticos con herramientas informáticas avanzadas. La respuesta a este interés ha derivado hacia la consolidación, ya establecida en el ámbito internacional, del área de M&S como un campo autónomo del conocimiento; hacia su incorporación como uno de los ejes curriculares de programas de pregrado (especialmente en ciencias naturales, ingeniería y economía) y hacia la creación y establecimiento creciente de programas de posgrado¹⁵.

La rápida evolución de las herramientas informáticas y computacionales, y su amplio uso por parte tanto de estudiantes como de profesores, ha adquirido últimamente una importancia especial, al punto de que el aprendizaje basado en modelos matemáticos y la implementación de simulaciones con fines didácticos se han convertido en estrategias indispensables en muchas instituciones académicas, modificando sustancialmente los procesos educativos¹⁶.

Modelar un fenómeno o un proceso es un ejercicio de creatividad que requiere del desarrollo de una amplia variedad de competencias que implican desde los fundamentos matemáticos básicos hasta el uso de técnicas computacionales avanzadas como, por ejemplo, las que se sustentan en la inteligencia artificial o en la teoría de juegos. Simular un fenómeno o un proceso es un delicado ejercicio de ajuste, refinamiento y acoplamiento que requiere del desarrollo de competencias complementarias orientadas

¹⁵Witheman W., KP. Nygren. 2000. "Achieving the right balance: properly integrating mathematical software packages into engineering education". *Journal of Engineering Education*, 89(3): 331-339.

¹⁶ Al-Rabai'ah, HA. 2009. "Teaching environmental modeling packages from a mathematical background". *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation* 4(3): 179-185.

hacia la aplicación efectiva, con técnicas computacionales, de un modelo en un contexto operativo real¹⁷.

Se reconoce que el área de “Modelado y Simulación” está actualmente presente en casi todos los campos de la investigación aplicada. Por ello el programa de maestría en modelado y simulación, propuesto en convenio por la Universidad Central y la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, ha sido diseñado para que su estructura curricular cumpla -de forma justificada, articulada y completa- dos requisitos esenciales: por un lado, formar estudiantes con sólidos fundamentos matemáticos, conceptuales y computacionales y, por otro, ofrecer profundidad en dominios específicos que correspondan a una oferta pertinente y variada de aplicaciones.

A nivel de pregrado, la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y la Universidad Central han incorporado de manera explícita el Modelado y la Simulación en los programas académicos de las facultades relacionadas con las Ciencias Naturales y la Ingeniería, a partir de la introducción de asignaturas básicas, electivas e interdisciplinarias en todos los niveles. La Maestría en Modelado y Simulación se deriva así de la combinación de esta experiencia formativa, con la tradición y experiencia en investigación en áreas relacionadas con el M&S en ambas instituciones.

Teniendo en cuenta esta experiencia formativa y de investigación, desde la perspectiva conceptual, matemática y computacional del modelado y la simulación en la maestría se estudiarán fenómenos, procesos y diseños enmarcados en tres campos, a saber, 1) los sistemas o procesos de ingeniería, 2) los sistemas naturales y 3) los sistemas sociales. Estos tres ámbitos corresponden a los Campos Generales de Aplicación de la Maestría, y se identifican con las áreas y líneas de profundización e investigación del programa.

2.1. Estado actual de la formación en el área de Modelado y Simulación

2.1.1. Ámbito Internacional

A nivel internacional la oferta de programas de maestría en Modelado y Simulación y áreas relacionadas es variada. Algunos de éstos se ofrecen como parte de estudios de doctorado. A continuación se relacionan algunos de los programas que, por su orientación y afinidad con las áreas de interés del programa propuesto, resultan relevantes:

- En Europa, se destaca el programa Erasmus Mundus MSc Course in MathMods, ofrecido en conjunto por la University of L'Aquila, la U. Autónoma Barcelona, la Universidad de Hamburgo, la Universidad de Tecnología de Gdansk y la Universidad de Niza - Sophia Antipolis. Con la fortaleza de la colaboración interinstitucional, se busca aprovechar el carácter multidisciplinario del M&S

¹⁷ Chen, S.H., A.J. Jakeman, J.P. Norton. 2008. “Artificial Intelligence techniques: An introduction to their use for modelling environmental systems”. *Mathematics and Computers in Simulation* 78: 379–400.

mediante la unificación de aspectos matemáticos de las diferentes disciplinas para el desarrollo de un enfoque metodológico común de modelado y simulación.

- La Universidad de Oxford unificó sus programas relacionados con M&S en el MSc. en Modelado Matemático y Computación Científica, con el objetivo de brindar una formación sólida en matemáticas para la formulación y solución de problemas. En este programa a partir de una descripción verbal, se lleva, posteriormente, a cabo el análisis matemático adecuado, y se seleccionan o desarrollan métodos numéricos apropiados, que se implementan mediante programas informáticos cuyos resultados, finalmente, son presentados e interpretados ante un *cliente* hipotético o real.
- La Universidad Técnica de Dinamarca creó la Maestría en Modelado Matemático y Computación; fundamentada fuertemente en las matemáticas y sus aplicaciones busca la formación de graduados competentes en la investigación industrial y desarrollo tecnológico. Este programa hace énfasis en el desarrollo de habilidades para la operación de instalaciones modernas de cómputo para el manejo de grandes volúmenes de datos.
- El University College London (Inglaterra) comenzó a ofrecer recientemente una maestría en Modelado Ambiental con un enfoque multidisciplinario cuyo programa se encuentra sustentado en las fortalezas en el tema de modelado que la institución ha desarrollado en los últimos años.
- El Baruch College (Estados Unidos) ofrece el programa de Maestría en Métodos Cuantitativos y Modelado diseñado para entrenar a los estudiantes en la aplicación de modelos matemáticos para la toma de decisiones en los campos de los negocios, la industria y el gobierno. El programa busca proveer un amplio espectro de habilidades básicas a través de diversos cursos que incluyen áreas como investigación de operaciones, estadística y sistemas de información.
- Modelado y Ciencia Computacional es el programa de Maestría que ofrece la Universidad de Ontario (Canadá). El programa, definido como interdisciplinario, busca introducir al estudiante en todos los aspectos relacionados con el modelado haciendo uso de herramientas informáticas de última generación disponibles en la universidad.
- La Universidad de Hull (Inglaterra) ofrece en la actualidad la maestría en Sistemas de Información Geográfica y Modelado Ambiental cuyo objetivo es el de cultivar las habilidades necesarias en todos los campos del trabajo ambiental, utilizando modelos numéricos para predecir cómo los sistemas naturales responden a cambios de su ambiente, tales como el cambio climático. Las aplicaciones incluyen el modelado del riesgo de inundaciones, modelos de biodiversidad y modelos climáticos.
- La Universidad pública Old Dominion (Estados Unidos) ofrece el programa presencial de Maestría en Modelado y Simulación y recientemente ha lanzado la versión virtual de este programa. Diseñado para estudiantes de ingeniería, ciencias

o matemáticas, el programa de maestría prepara a los estudiantes para ejercer como profesionales en simulación en campos de la industria o del gobierno, como profesores de modelado y simulación a nivel de escuela secundaria o como profesionales con estudios avanzados aplicables en áreas relacionadas con el modelado y la simulación.

- La Universidad de Doshisha (Japón) ofrece el programa de Maestría en Ambiente y Modelado Matemático cuyo objetivo es formar individuos que estén en capacidad de abordar problemas de tipo ambiental desde una perspectiva científica e integrada, y que cuenten con el conocimiento de la matemática moderna y su aplicación a problemas del mundo real.
- El programa de Informática Medioambiental (Environmental Informatics: GIS and Modeling) ofrecido por la Escuela de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad de Michigan, se enfoca en la enseñanza-aprendizaje de métodos y en el desarrollo de destrezas que permitan, a sus egresados, resolver problemáticas ambientales por medio del uso de técnicas analíticas y computacionales, incluyendo como un componente adicional los aspectos científicos y sociales que subyacen al problema. Una de las ventajas de este programa es que combina adecuadamente los sistemas de información geográfica con métodos cuantitativos y técnicas de modelado que permiten su aplicación en el área de los recursos naturales. Para este fin el estudiante debe tomar asignaturas como: muestreo, estadística y probabilidad, procesos espacio-temporales, entre otras. Los profesionales egresados de este programa se desempeñan en áreas como las relacionadas con la conservación de recursos naturales, consultoría ambiental, docencia-investigación y planificación.
- Por otra parte, en Europa la Universidad de Oldenburg (Alemania) ofrece el programa de Informática Medioambiental en dos niveles, especialización y maestría, los cuales se orientan hacia la formación de profesionales que contribuyan a la protección del medioambiente y el desarrollo sostenible enfatizando el perfeccionamiento del uso de energías renovables. Las asignaturas correspondientes están dirigidas hacia la modelación y simulación de sistemas ecológicos, sistemas de información medioambientales y sistemas de información de negocios medioambientales. Los cursos de modelado y simulación se enfocan en áreas como modelado matemático, modelado y simulación discreto, ejemplos de modelos económicos y técnicas de validación de modelos
- El programa de Doctorado en Informática Medioambiental, ofrecido por la universidad de Göttingen (Alemania), integra las dimensiones biológicas, ecológicas y geográficas con las ciencias computacionales y el fundamento matemático.
- La Universidad Central de la Florida ofrece estudios de posgrado en modelado y simulación conducentes a la obtención de títulos de Maestría y Doctorado. El programa provee a los estudiantes el conjunto de conocimientos fundamentales en modelado y simulación incluyendo simulación discreta y continua, aspectos

cuantitativos del modelado y la simulación como herramienta y disciplina transversal para resolver problemas aplicados.

- La Universidad Carlos III de Madrid (España) ofrece un programa de Doctorado en Ingeniería Matemática, como la continuación natural de los estudios de segundo ciclo de postgrado que conducen al título de Máster en Ingeniería Matemática, centrada en la aplicación de modelos físico-matemáticos a problemas de desarrollo tecnológico.
- La Universidad de Pune (India) posee, de acuerdo a las particularidades del sistema académico de ese país, el Diploma Avanzado en Modelado y Simulación; si bien éste no es estrictamente un programa de doctorado, provee las herramientas académicas y los requisitos necesarios para formalizar una propuesta de Tesis Doctoral por medio de un programa intensivo (de un año) en matemáticas aplicadas y numéricas, inferencia estadística y aplicada y aspectos esenciales de computación para la simulación.
- El programa de Doctorado y Máster en Investigación, Modelización y Análisis del Riego en Medio Ambiente ofrecido por la Universidad Politécnica de Madrid (España) incluye el modelado como una de las herramientas básicas para desarrollar las habilidades científico-técnicas requeridas para abordar proyectos de investigación de procesos de contaminación del medio natural y sus efectos.
- La Universidad de los Andes de Venezuela ofrece la Maestría en Modelado y Simulación de Sistemas cuyo objetivo es dotar a sus estudiantes de las capacidades para diseñar, implementar y analizar los modelos de simulación de los sistemas físicos, sociales y ambientales necesarios para comprender y manejar la complejidad.

2.1.2. Ámbitos Nacional y Regional

De acuerdo con la información suministrada por el Ministerio de Educación Nacional en el Sistema Nacional de Información de Educación Superior (SNIES)¹⁸, en Colombia no se ofrecen Maestrías en Modelado y Simulación en este momento. Si bien en el contexto internacional se reconoce al M&S como una disciplina autónoma a nivel de Maestría y Doctorado (como puede verificarse por la oferta de programas con esta denominación y por el creciente número de revistas científicas y eventos internacionales que congregan a especialistas en la disciplina¹⁹), ninguna institución Colombiana de Educación Superior otorga un título de Magíster en Modelado y Simulación como el propuesto conjuntamente por la Universidad Central y la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Sin embargo, algunas instituciones del país han empezado a reconocer la necesidad de generar programas de posgrado que integren elementos de la disciplina del M&S a la

¹⁸ <http://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-article-212396.html>

¹⁹ <http://www.iccms.org/>

formación de profesionales capaces de abordar problemas cuya complejidad requiere el uso convergente de herramientas matemáticas y computacionales. En el país, en consecuencia, se ofrecen especializaciones en el área del M&S con enfoques y aplicaciones muy específicos. Existen, complementariamente, programas de Maestría en Matemática Aplicada, cuyos métodos y herramientas resultan más transversales. Estos últimos programas incorporan, al reconocer el campo disciplinar de las matemáticas aplicadas, el modelado matemático como su eje conceptual y curricular, llegando en algunos casos a integrar elementos de simulación dentro de las alternativas de profundización o investigación.

A continuación se ofrece una descripción sucinta, con las características más relevantes de los programas de posgrado ofrecidos actualmente en áreas afines al Modelado y Simulación en diferentes instituciones del país.

- La Especialización en Modelado, Simulación y Optimización de Sistemas, ofrecida por la Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín), está orientada hacia la formación en el manejo de métodos numéricos y herramientas computacionales que permitan el mejoramiento, la modificación, la optimización y el desarrollo de sistemas técnicos propios del quehacer de la ingeniería y de los procesos industriales.
- La Universidad Pontificia Javeriana (Cali) ofrece una Especialización en Modelamiento y Simulación que busca formar a profesionales en el conocimiento de métodos y técnicas para la modelación y la simulación de aquellos sistemas en los que interactúan elementos físicos y de comportamiento humano con el fin de resolver problemas concretos.
- Por su parte, la Universidad del Magdalena (Santa Marta) cuenta con una Especialización en Modelado y Simulación cuyo objetivo es formar profesionales capaces de enfrentar los problemas de un mundo globalizado, mediante el esquema del pensamiento sistémico o de dinámica de sistemas. (Para 2011 no se ofreció en la web)
- Finalmente, la Especialización en Matemática Aplicada de la Universidad Sergio Arboleda (Bogotá) que tiene dos enfoques, uno en investigación de operaciones y otro en sistemas dinámicos, centra su esfuerzo en el desarrollo de modelos matemáticos con el soporte tecnológico necesario para optimizar los procesos en las áreas de aplicación de su especialidad, orientados especialmente a la interpretación de fenómenos, toma de decisiones y asignación de recursos.

Como se mencionó previamente, en Colombia existen varios programas de Maestría en Matemática Aplicada que integran métodos del Modelado Matemático, además de algunas Maestrías en Ingeniería que en algún nivel (casi siempre tangencial) hacen uso de simulaciones previamente implementadas, o bien de aplicaciones informáticas (libres o licenciadas). Entre los principales programas que se ofertan a este nivel se encuentran:

- La Maestría en Matemática Aplicada de la Universidad Nacional (UN) tiene como propósito la formación complementaria de profesionales con capacidad para proponer, dirigir y realizar actividades profesionales e investigativas que requieren de una base matemática sólida. Cuenta con una línea de investigación en modelación matemática. También se ofrece el programa de Maestría en Matemática Aplicada en la sede de Manizales de la UN. En éste se busca formar profesionales con habilidades de investigación en matemática aplicada a problemas de las ciencias, la ingeniería y la industria empleando métodos de modelado matemático.
- La Universidad EAFIT (Medellín) ofrece una Maestría en Matemáticas Aplicadas en la que se reconoce que un aspecto importante en el conocimiento de un objeto o rama de las matemáticas es el saber cómo se relacionan éstos con los objetos o situaciones del mundo físico que pueden representar, así como los supuestos necesarios para que esta representación se pueda dar de una manera adecuada, según las limitaciones de esta relación entre el objeto matemático y el mundo real. Estos aspectos se engloban dentro del término Modelación Matemática, que es uno de los temas centrales que se desarrollan durante el transcurso de la maestría.

2.2. Estudio comparativo.

En la Tabla 2.1 se presenta un resumen del estudio comparativo de los programas internacionales de Maestría mencionados anteriormente, en cuanto a objetivos, flexibilidad, investigación, número de créditos y duración.

PROGRAMA	OBJETIVO	FLEXIBILIDAD	INVESTIGACIÓN	CRÉDITOS - SEMESTRES
Mathematical Modelling in Engineering-MathMods. - Università degli Studi dell'Aquila - Universitat Autònoma de Barcelona - Politechnika Gdańska - Universität Hamburg - Université de Nice – Sophia Antipolis	Formar recurso humano en M&S de problemas de ingeniería con carácter multidisciplinario.	Todos los estudiantes cursan el mismo núcleo básico el primer año. Luego cada uno elige su línea de investigación y realiza la tesis.	<ul style="list-style-type: none"> - M&S de dispositivos electrónicos y materiales. - M&S de sistemas complejos. - Modelado matemático en biología y finanzas. 	120-4
Mathematical Modelling and Scientific Computing. Oxford University (Inglaterra)	Formar graduados con una fundamentación matemática sólida para desarrollar y aplicar sus habilidades a la solución de problemas reales.	El estudiante puede elegir entre la opción aplicada: modelado matemático y computación científica o la de investigación intensiva: matemática aplicada y computacional.	<ul style="list-style-type: none"> - M&S de sistemas biológicos y ecológicos. - M&S del sistema climático 	120-4
Mathematical modeling and computation. Denmark Technical University. (Dinamarca)	Proporcionar a los graduados una robusta formación en matemáticas aplicadas y modelos matemáticos para la investigación industrial y desarrollo.	El estudiante cursa asignaturas obligatorias que equivalen al 25% de los créditos, electivas que equivalen a 50% y realiza una tesis de grado que equivale al 25% restante.	<ul style="list-style-type: none"> - M&S de procesos industriales - Geomática - Aprendizaje de Máquina 	120-4

Environmental Modelling University College London (Inglaterra)	Capacitar a los estudiantes en el área de modelado del sistema terrestre.	El 30% de los créditos corresponde a las asignaturas obligatorias, otro 30% a electivas y un 40% a la tesis de grado.	<ul style="list-style-type: none"> - M&S del Sistema Climático - Cambio climático. 	180-3
The Master of Science (MS) in Quantitative Methods and Modeling. Baruch College (USA)	Entrenar a los estudiantes en la aplicación de modelos matemáticos en los campos de la industria, los negocios y gobierno.	El 25% de los créditos corresponden a cursos preliminares, el 50% a cursos de profundización. El 25% restante a cursos electivos y un trabajo final de grado.	<ul style="list-style-type: none"> - Modelos de predicción - Modelado matemático aplicado a negocios - Sistemas de Información 	40-2
Modelling and Computational Science. University of Ontario (Canadá).	Ofrecer al estudiante conocimientos en el área del M&S	Todos los estudiantes cursan el mismo núcleo básico el primer año. Luego cada uno elige su línea de investigación y realiza la tesis.	<ul style="list-style-type: none"> - Teoría de la computación - Algoritmos y estructuras de datos - Lenguajes de programación y compiladores - Bases de datos - Gráficos por computador - Computación científica: <ul style="list-style-type: none"> o M&S de Materiales o M&S en nanotecnología o M&S aplicada a fotónica y física nuclear. 	NE ²⁰ -4
GIS and Environmental Modelling University of Hull (Inglaterra)	Cultivar las habilidades necesarias en todos los campos del trabajo ambiental.	El estudiante debe cursar 4 módulos obligatorios y 2 electivos que corresponden aproximadamente al 65% de los créditos y realizar una	<ul style="list-style-type: none"> - M&S de Sistemas Ecológicos - M&S del Sistema Climático 	180-3

²⁰ No especificado en la página web.

		tesis de grado equivalente al 35% restante de los créditos.		
Master of Engineering Degree in Modeling and Simulation. Old Dominion University (USA)	Preparar a los estudiantes para ejercer como profesionales en simulación en campos de la industria y el gobierno.	Maestría Online	- Teoría de la computación - Lenguajes de programación y compiladores	NE
Science of Environment and Mathematical Modeling Doshisha University (Japón)	Desarrollar individuos con capacidad para abordar problemas de tipo ambiental desde una perspectiva científica e integrada.	NE	-M&S del Sistema Terrestre -Modelado matemático aplicado a Negocios	NE
Environmental Informatics: GIS and Modeling Universidad de Michigan. (USA)	Resolver problemáticas ambientales por medio del uso de técnicas analíticas y computacionales Incluyendo como componente adicional los aspectos científicos y sociales detrás del problema.	El estudiante debe cursar asignaturas obligatorias, puede elegir ilimitadamente las asignaturas específicas y realizar tesis de grado	-M&S de Sistemas Naturales -M&S de Sistemas Sociales -M&S para la Evaluación Ambiental	67-4
Environmental Informatics. Carl von Ossietzky University Oldenburg (Alemania)	Formar profesionales que contribuyan a la protección del medioambiente y el desarrollo sostenible.	Los estudiantes inician el programa de pregrado y tienen la opción de obtener el título de especialización y/o Maestría. Si el estudiante pertenece a otro pregrado debe cursar asignaturas de nivelación.	-M&S de Sistemas Ecológicos -Sistema de Información medioambiental -Sistemas de información de negocios medioambientales.	120-6

PhD in Environmental Informatics. University of Göttingen	Integrar las dimensiones biológicas, ecológicas y geográficas con las ciencias computacionales y el fundamento matemático.	El estudiante asiste a las asignaturas que considere necesarias para complementar su formación y realiza la tesis.	-Bioinformática -Ecoinformática -Geoinformática	NE
Modeling and Simulation Professional Science MSc. University of Central Florida	Ofrecer a los estudiantes el conjunto de conocimientos fundamentales en M&S incluyendo simulación discreta y continua, aspectos cuantitativos del modelado y la simulación como herramienta y disciplina transversal para resolver problemas.	ONLINE El estudiante debe completar un núcleo básico de asignaturas que corresponde al 20% de los créditos. Un núcleo de asignaturas específicas que corresponde a otro 20% y una tesis equivalente al 60% de los créditos restantes.	-Modelado de Procesos Industriales -M&S aplicado a negocios y finanzas.	NE-2
Máster Universitario en Ingeniería Matemática. Universidad Carlos III de Madrid (España)	Desarrollar en los estudiantes habilidades en resolución de problemas e iniciación a la investigación por medio de herramientas informáticas avanzadas en el ámbito de las Matemáticas y la Estadística.	El 40% de los créditos corresponden a cursos obligatorios. El 45% a materias optativas y el 15% restante al trabajo de grado.	-Teoría de control y aplicaciones -Sistemas Complejos -Métodos avanzados en polinomios Ortogonales -Inferencia Bayesiana -Series Temporales -Econometría -Optimización	90-2

Master of Technology in Modeling and Simulation Centre for Modeling and Simulation . University of Pune. India.	Ofrecer una fundamentación matemática sólida para desarrollar habilidades en la solución de problemas por medio del modelado y la simulación.	Los estudiantes deben cursar dos núcleos de asignaturas obligatorias y electivas. En total 65 % de los créditos corresponden a asignaturas obligatorias, el 10 % a electivas y 25% al trabajo de grado.	-Optimización -Simulación estocástica -Probabilidad Avanzada -M&S de fluidos -M&S de sistemas biológicos -M&S en finanzas -Modelado basado en agentes. -M&S en Sistemas Complejos	100-2
Programa de Doctorado y Máster en Investigación, modelización y análisis del riesgo en medio ambiente. Universidad politécnica de Madrid (España).	Desarrolla las habilidades básicas científico. Técnicas requeridas para abordar proyectos de investigación de procesos de contaminación del medio natural y sus efectos.	El 50% de los créditos corresponden a cursos; el 50% restante al trabajo de grado.	-M&S en Medio Ambiente -Análisis y gestión del Riesgo en Medio Ambiente -M&S del sistema climático.	90-2
Maestría en Modelado y Simulación de Sistemas. Universidad de los Andes de Venezuela.	Dotar a sus estudiantes de las capacidades para diseñar, implementar y analizar los modelos de simulación de los sistemas de físicos, sociales y ambientales necesarios para comprender y manejar la complejidad.	El 40% de los créditos corresponden a asignaturas obligatorias, el 35 % al componente flexible comprendido por electivas y seminarios; y el 25% restante al trabajo de grado.	-Lenguajes y Plataformas de M&S. -Simulación de Sistemas Multiagentes. -Simulación Paralela y Distribuida. -Simulación de Sistemas Biomédicos -Simulación del Cambio Estructural. -Simulación Lógica, -Simulación Espacial -Simulación Social.	38-2

Tabla 2.1. Comparación de programas de Maestría en temas relacionados con Modelado y Simulación en el ámbito internacional

Al evaluar la oferta de programas relacionados puede concluirse que el programa de Maestría en Modelado y Simulación propuesto atiende a las necesidades de formación que en esta área, a nivel de posgrado, el país ha reconocido en los últimos años. Es así como algunas instituciones han propuesto especializaciones que abordan algunas necesidades de profundización en líneas muy específicas que, por lo mismo, no llegan a hacer uso de una de las mayores ventajas del área del M&S, a saber, el uso transversal, interdisciplinar e integrado de las técnicas de modelado y simulación para resolver problemas, bien sea de investigación o de aplicación, que por su naturaleza requieren el uso convergente de herramientas matemáticas y computacionales.

Complementariamente, las maestrías en matemática aplicada, si bien reconocen el modelado como el instrumento conceptual para representar objetos o sistemas reales, no llegan, en general, a incorporar sus resultados a la aplicación efectiva de la solución de problemas reales y aplicados ya que, en general, prescinden del uso explícito de la simulación computacional.

La maestría en modelado y simulación propuesta conjuntamente por las universidades Jorge Tadeo Lozano y Central se ajusta a las tendencias internacionales e incorpora las necesidades de formación reconocidas a nivel nacional: Por una parte, el uso transversal del modelado y la simulación a la solución de problemas diversos y en este sentido -pero también en la fundamentación matemática, conceptual y computacional- se diferencia de las ofertas a nivel de especialización en el área. Por otra parte, al incorporar explícitamente las herramientas computacionales y matemáticas para simular procesos o para simular la evolución de sistemas reales, se diferencia de los programas de matemática aplicada ya que mediante este enfoque se pretende abordar la solución de problemas cuyos resultados puedan aplicarse en ámbitos concretos.

2.3. Demandas Potenciales y Realizadas en función de las necesidades del país

El M&S -orientado hacia la aplicación computacional del conocimiento formal (matemático) a problemas en Ciencias Naturales, Ciencias Sociales (incluyendo las Ciencias Económicas) e Ingeniería- se presenta como un frente de desarrollo de conocimiento que puede contribuir al avance tecnológico y la innovación en el país.

Las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 presentan, respectivamente, la evolución del volumen de egresados en los ámbitos de Ciencias Sociales y Humanas, Ingeniería y Ciencias Naturales, los cuales corresponden con los tres campos de aplicación de la Maestría. En este contexto, se ha buscado que la oferta de este programa de Maestría se ajuste apropiadamente al perfil de tales egresados en función de las necesidades del país.

En los ámbitos relacionados con los campos de aplicación del M&S, tal como se infiere de las gráficas referidas, se gradúan más de 100.000 personas al año. Y si bien el espectro de oportunidades y decisiones de los egresados es amplio, se espera que de ellos un número importante empiecen a apreciar la importancia del M&S como para considerarla una opción relevante y pertinente a nivel de posgrado.

En el caso colombiano, la transición desde un ejercicio técnico de la Ingeniería hacia una aplicación estructurada de las herramientas tecnológicas y metodológicas está, a nivel general, aún por darse. La aplicación del M&S a la innovación, al diseño, a la implementación de herramientas y a la ejecución de proyectos resulta de especial importancia. En vista de la necesidad de generar soluciones prácticas adaptadas a las condiciones particulares del país, en términos de sus características geográficas, económicas y culturales, trascendiendo la adaptación de métodos y herramientas diseñadas para contextos diferentes, la implementación de las ventajas del M&S se convierten en una solución a corto plazo que puede contribuir a mejorar los medios a disposición de la sociedad y del sector productivo para la solución de problemas específicos. Además, los avances en la capacidad científica, tecnológica y de gestión de métodos y técnicas para la mejora de la producción, para la predicción y manejo de fenómenos naturales y para la caracterización de comportamientos sociales pueden contribuir de manera significativa al desarrollo económico y social del país.

En el contexto de dichas necesidades, es prioritario conseguir un volumen suficiente de proyectos y actividades de investigación y aplicación del M&S, lo que implica una mayor oferta de estudios a nivel de postgrado en el área, permitiendo atender la demanda potencial de estudiantes con intereses, inquietudes e iniciativas relacionadas. Ello contribuirá a que la sociedad colombiana cuente con un conjunto de profesionales de alto nivel académico capaces de generar respuestas innovadoras y pertinentes a los retos económicos, sociales y medioambientales que actualmente enfrenta el país.

En el marco de la inserción del país desde la fuerte competencia por la producción de bienes y servicios de mayor valor agregado a menor costo (asunto de especial vigencia dada la reciente aprobación del Tratado de Libre Comercio con EEUU), la formación de un volumen suficiente de profesionales en áreas relacionadas y con altos grados de formación, motivación y compromiso se hace indispensable. Esta exigencia está además condicionada por un ambiente de creciente demanda de eficiencia e impacto en la implantación del conocimiento aplicado a la generación de soluciones prácticas a través de métodos, productos y servicios.

La Ley 1286 de 2009²¹ transformó a COLCIENCIAS, organismo que tradicionalmente se ha encargado de la gestión de los recursos destinados a la inversión en ciencia y tecnología, en el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), y creó el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación – SNCTI-, con la intención de promover un “modelo productivo sustentado en la Ciencia y la Tecnología” (Ídem). Colciencias tiene, entonces, la misión de formular una Política Nacional de CTI y de vigilar su cumplimiento, desde diferentes iniciativas. En este marco, dentro de los proyectos principales puede destacarse el de “Colombia Construye y Siembra Futuro” (CCYSF), que busca mejorar el acceso a la formación académica y la definición de varias áreas estratégicas. En sintonía con esta aproximación se encuentra la creación de los Centros de

²¹ Visión 2019 segundo centenario Plan Nacional de Desarrollo Capítulos 3 y 4: Describe la conformación de los grupos de investigación y por qué es importante el estudio en ciencias para el desarrollo del país.

Excelencia Interinstitucionales, como es el caso, entre otros, del Centro de Bioinformática y Biocomputación y del Centro de Investigación de Excelencia en Modelado y Simulación de Fenómenos y Procesos Complejos (CEIBA). En dichos Centros, de reciente creación, se vienen desarrollando proyectos de investigación con un componente importante de modelado matemático y un uso intensivo de herramientas computacionales para la representación y simulación de sistemas dinámicos. Lo anterior muestra que las primeras iniciativas importantes para incorporar el M&S al desarrollo del país ya se han dado.

Aunque una evaluación del impacto de estas políticas y lineamientos sería prematura, es evidente la preocupación y la presencia de iniciativas que, desde diversos ámbitos y actores, buscan dotar al país de la infraestructura y personal disponible para el robustecimiento del sector productivo. En este marco, es esencial que dichas iniciativas contemplen -además de la formación de profesionales capacitados en M&S- la generación de proyectos de emprendimiento de carácter nacional.

De ser asumido, tal reto involucrará la formación de un volumen suficiente de profesionales en Ciencias Exactas y Naturales, Sociales e Ingeniería con sólidos conocimientos en M&S (en sus diferentes aproximaciones), de modo que las soluciones e iniciativas planteadas desde los espacios académicos puedan ser transferidas, de forma efectiva, a actividades productivas concretas.

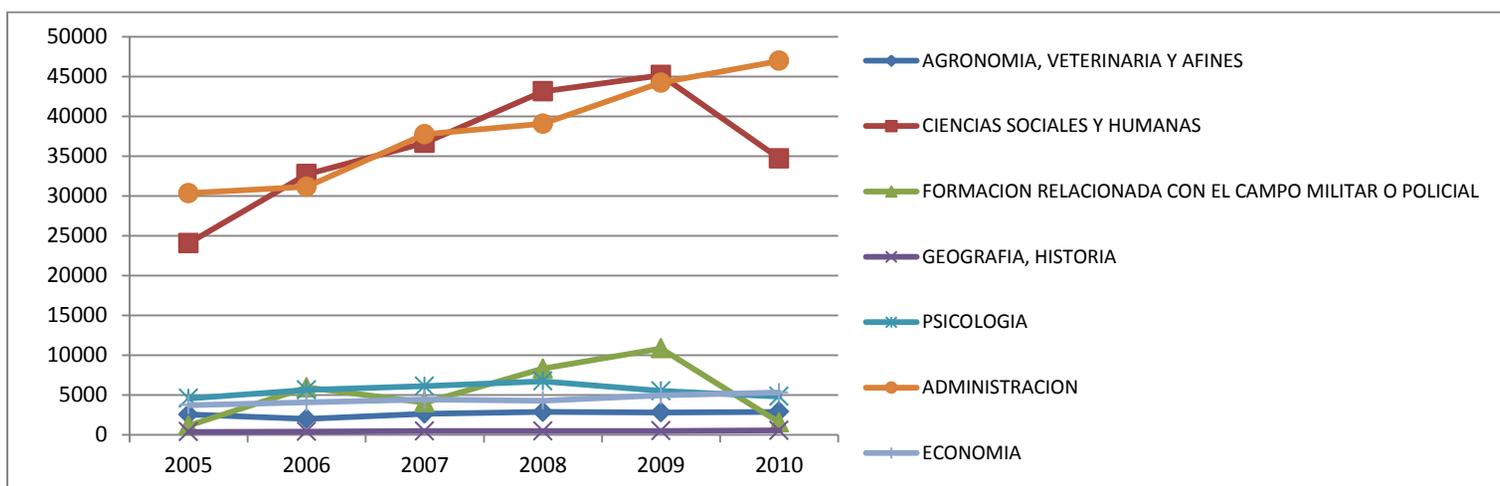


Figura 2.1. Graduados de programas afines al campo de los Sistemas Sociales, periodo 2005-2010

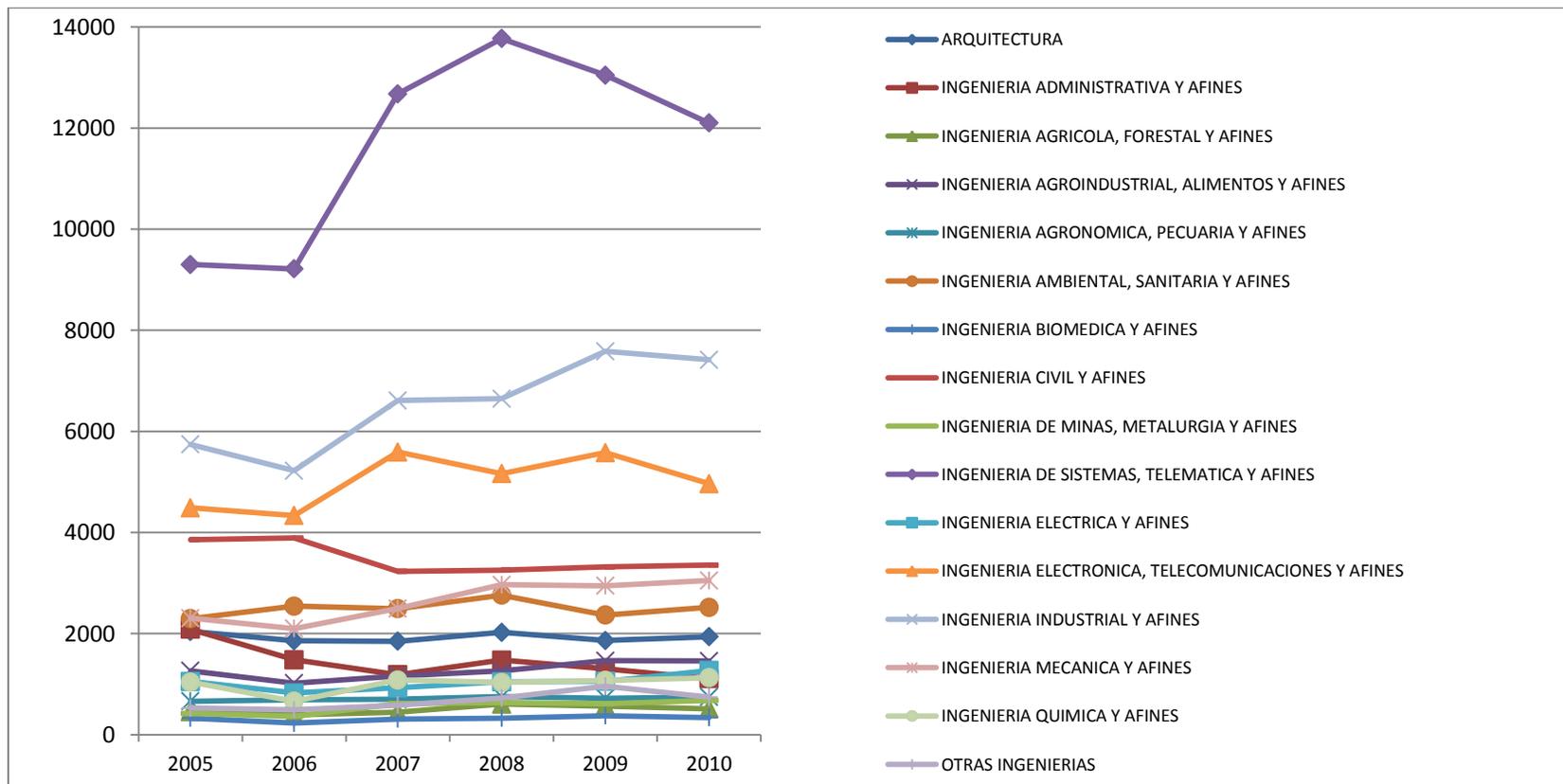


Figura 2.2. Graduados de programas afines al campo de los Sistemas y Procesos de Ingeniería, periodo 2005-2010

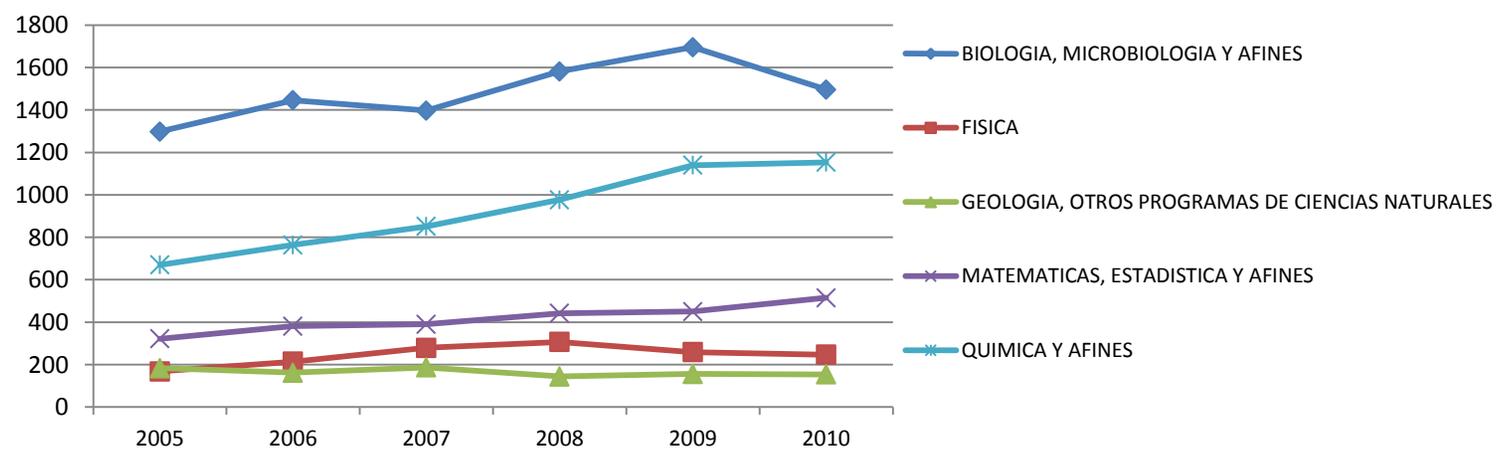


Figura 2.3. Graduados de programas afines al campo de los Sistemas Naturales, periodo 2005-2010

2.4. Pertinencia e impacto del programa

Tal como viene sucediendo en países con alto grado de desarrollo, la expansión y consolidación de una industria nacional robusta, dependerá en buena medida, de la consolidación del campo del Modelado y Simulación en dos sentidos complementarios:

- Formando profesionales capaces de comprender, analizar y detectar necesidades concretas a partir de las cuales se generen empresas productivas.
- Generando conocimientos que permitan a la empresa, presente y futura, acceder a métodos, tecnologías, herramientas y productos creados bajo estrictos procesos de diseño, validación e implementación en fase de producción, asegurando una mejora en su productividad y realimentando con resultados y experiencias la actividad académica en el área.

Estos requerimientos podrán ser plenamente confrontados en la medida en que el país consolida el área del M&S como una línea estratégica de inversión en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) y como un campo activo en el ejercicio profesional de la Ingeniería y áreas relacionadas (economía, diseño industrial, tecnologías asociadas a la instrumentación, la producción, etc.). La creación de programas académicos de alto nivel en M&S se presenta, entonces, como una tarea necesaria y urgente.

2.4.1. Pertinencia Institucional

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Central, en su Plan Estratégico del periodo 2010/2011 incorporó al área de Modelado y Simulación como un frente estratégico en la formación de profesionales de Ingeniería, Matemáticas y Biología. Esta decisión fue el resultado de un proceso que ha venido madurando en los últimos años y que se ha materializado a través de diferentes acciones, como la inclusión de la asignatura de Modelado y Simulación (V Semestre) como componente obligatorio de los planes curriculares de todas las carreras de ingeniería impartidas por la facultad y la consolidación de investigaciones con fuertes componentes de M&S.

En 2009 se propuso, además, la creación una Maestría en Modelado y Simulación que integre los recursos, las capacidades y las fortalezas del equipo de docentes investigadores a disposición de la facultad en un programa de Maestría capaz de articular la actividad investigativa en el área. En el 2013 fueron aprobadas las especializaciones de Mecatrónica Presencial y Mecatrónica Industrial Virtual, con una fuerte componente en modelado de sistemas de ingeniería, donde se destacan asignaturas básicas de modelamiento y herramientas para el modelado.

Asimismo, las carreras de Biología y de Matemáticas, de reciente creación, fundamentan sus Proyectos Educativos en la articulación de los conocimientos y competencias desarrollados por los estudiantes para la generación y afianzamiento de habilidades en procesos de modelado aplicado a la solución de problemas específicos en ámbitos productivos y de investigación.

Por otra parte, buscando favorecer la interdisciplinariedad y la flexibilidad curricular, el Consejo Directivo de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, mediante el acuerdo 35 de 2009, expidió directrices para actualizar los currículos de los programas ofrecidos por la Institución. La actualización curricular de los programas de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería (FCNI) se llevó a cabo siguiendo los lineamientos institucionales que promueven la interdisciplinariedad y la flexibilidad curricular ya que, por una parte, éstos se ajustan a las tendencias nacionales e internacionales y, por otra, tal como se manifiesta en el Plan de Desarrollo de la Facultad (2011-2015), se reconoce que “se van a requerir profesionales con capacidad para enfrentar los desafíos y retos globales, complejos e interdependientes”.

Además, “la Facultad se orienta por la sinergia y la organización sistémica de tres ejes temáticos: las Ciencias Básicas (Matemáticas, Estadística, Química, Física); las Ciencias Biológicas y Ambientales; y las Ciencias Aplicadas, que incluyen las Ciencias de la computación y la Ingeniería.” Las discusiones a nivel de Comité de Facultad han llevado a concluir que el M&S, tanto por su naturaleza interdisciplinar como por las ventajas formativas e investigativas que se derivan de su implementación en las ciencias naturales y la ingeniería, debe servir como una de las herramientas metodológicas, conceptuales y formativas que propicien la integración articulada entre estos tres ejes temáticos.

Es en este sentido que el Acuerdo 26, de abril 27 de 2010, en su artículo 8 determinó que el Departamento de Ciencias Básicas (DCB, dependencia adscrita a la FCNI) tiene como uno de sus objetivos centrales el de “integrar a su quehacer investigativo el modelado y simulación de sistemas”. Además, dentro de los criterios y lineamientos para llevar a cabo la actualización curricular se estableció que “para favorecer los procesos de aprendizaje el DCB ha optado por enfatizar la interpretación de las teorías en la enseñanza de las ciencias básicas mediante el uso de modelos adecuados a las disciplinas. Las asignaturas ofrecidas por el DCB, en consecuencia, tendrán un enfoque pedagógico que favorecerá el aprendizaje basado en el modelado, en la simulación y en el uso de TIC”²².

En la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano se han adelantado investigaciones con resultados sobre dinámica de sistemas marinos; sobre el modelado de sistemas biológicos, ecológicos y ambientales; sobre la simulación química de moléculas con relevancia biológica; sobre modelos sociales tales como el que describe la dinámica del conflicto armado colombiano; sobre el comportamiento de variables econométricas; sobre el manejo de recursos hídricos y alimentarios; y sobre el desarrollo e implementación de modelos y simulaciones como instrumentos didácticos en el contexto de las ciencias básicas, por contar algunos ejemplos.

²²Véase el numeral 5 sobre Lineamientos y Criterios del Departamento de Ciencias Básicas para la Actualización de los Planes de Estudio en el Documento enviado al MEN para la actualización de los programas de la FCNI.

En la Universidad Central, por su parte, se cuenta con experiencia en investigación, con resultados en simulación de sistemas meteorológicos y climatológicos locales, sistemas biomecánicos, particularmente en modelos de elementos finitos para la simulación de comportamientos elásticos en tejido muscular, modelado de sistemas mecatrónicos para la representación formal de mecanismos automatizados en robótica y modelado de procesos de optimización en ambientes empresariales e industriales. Recientemente se han vinculado profesores con experiencia en modelos físicos y bioinspirados para visión por computador y modelos de la inteligencia computacional y de aprendizaje de máquina para el modelado de sistemas para la extracción de información relevante en grandes conjuntos de datos. Igualmente, se ha fortalecido la actividad en cómputo de alto desempeño, esencial para la implementación computacional de experimentos numéricos que dan soporte a la simulación (para descripción, medida y validación) de modelos matemáticos de diversa índole²³.

A nivel de pregrado, las universidades Jorge Tadeo Lozano y Central han incorporado de manera explícita el Modelado y la Simulación en los programas académicos de las facultades relacionadas con las Ciencias Naturales y la Ingeniería, a partir de la introducción de asignaturas básicas, electivas e interdisciplinarias en todos los niveles. En los posgrados relacionados con las ciencias naturales e ingenierías existen electivas y áreas de profundización especialmente orientadas hacia fenómenos biológicos, ambientales y procesos de ingeniería. La Maestría en Modelado y Simulación se deriva así de la combinación de esta experiencia formativa, con la tradición y experiencia en investigación en áreas relacionadas con el M&S en ambas instituciones.

2.4.2. Coherencia con la Misión y el PEI de las Instituciones

El enunciado de la Misión de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, que orienta la Universidad desde el año 2000 y que fuera actualizado en el año 2011, se plantea en los siguientes términos:

“La Tadeo es una institución de carácter pluralista, que fomenta una cultura abierta al diálogo reflexivo y crítico, y al intercambio de ideas y orientaciones epistemológicas. Promueve la equidad y movilidad social al ofrecer oportunidades amplias de acceso a la educación universitaria y brindar a sus estudiantes una formación integral, para que como exalumnos puedan desempeñarse en un mundo multicultural, globalizado e interdependiente.

Al continuar desde una perspectiva contemporánea con los ideales de la Expedición Botánica que inspiraron a los fundadores de la Universidad y enmarcando su acción dentro de los principios constitucionales del Estado Social de Derecho, la Tadeo orienta sus esfuerzos educativos, de investigación y de proyección social a la formación de personas éticas, competentes, críticas y creativas, que asumiendo su compromiso con la sociedad y con clara conciencia de respeto por los otros, por los

²³ Ver en la sección de investigación la relación de grupos y productos.

derechos humanos y por el medio ambiente, contribuyan al bien común y al desarrollo social, cultural, empresarial, científico y estético de la nación colombiana.”

El propósito fundamental de la Misión es “la formación de personas competentes, críticas y creativas, con proyección hacia la investigación, en las diferentes áreas del saber.” Este propósito, que se ajusta fielmente a los propósitos formativos del programa de maestría propuesto, se respalda por una parte con la fortaleza derivada del retomar, en términos contemporáneos, los ideales ilustrados de la Expedición Botánica y por otra con la orientación de sus esfuerzos académicos, investigativos, administrativos y de extensión, para el logro de dicho propósito. La “proyección hacia la investigación” puede asumirse como un rasgo propio de los egresados de la Tadeo que compromete en alto grado tanto al Proyecto Educativo Institucional, al Modelo Pedagógico y, en consecuencia, a los programas de maestría como el propuesto.

El propósito central de la Misión de la Universidad Jorge Tadeo Lozano debe verse reflejado en el perfil de sus egresados y su proyección hacia el medio social y se evidencia específicamente en tres aspectos: el compromiso con el conocimiento, el reconocimiento de la complejidad de los fenómenos naturales y sociales, y el respeto por los otros y por el medio ambiente. Todos estos aspectos están contemplados dentro de los fines formativos de la maestría (MM&S), pero especialmente el que enuncia “el reconocimiento de la complejidad de los fenómenos naturales y sociales” ya que éste constituye el eje que orienta y articula la justificación y el diseño curricular del programa.

La Universidad Central, por su parte, contempla en su PEI que:

“En su paso por la Universidad, el estudiante debe adquirir, además de los conocimientos necesarios para el ejercicio de su profesión, una capacidad reflexiva y de pensamiento crítico que le permita afrontar de manera versátil, creativa y proba, los retos que se le presenten en su vida personal y profesional.”

Ello se articula con las competencias y habilidades que desarrollarán los estudiantes del programa de Maestría en Modelado y Simulación, para el cual los egresados de la Universidad en las carreras de Matemáticas, Ingenierías, Economía y Ciencias Humanas constituyen parte esencial del público objetivo. En el trasfondo de este proyecto está la generación de inquietudes en investigación aplicada e innovación que contribuyan a la formación para la investigación, al desarrollo social y productivo, y al emprendimiento desde los intereses nacionales. Todo ello teniendo en cuenta que la búsqueda del desarrollo y la equidad social en armonía con el entorno natural y humano se cuenta dentro de los principios rectores que orientan la filosofía de ambas instituciones.

Es así como el programa de Maestría en Modelado y Simulación constituye una clara respuesta a exigencias planteadas desde de la misión institucional y el proyecto educativo de las Universidades Central y Jorge Tadeo Lozano, a partir de sus coincidencias, perspectivas comunes e identidad de principios y fines académicos. La misión de ambas instituciones se ve reflejada en las características y expectativas del perfil profesional

definido para los egresados, en el plan de estudios y en la metodología para desarrollarlo ya que ésta privilegia los procesos del pensamiento, el cultivo de operaciones abstractas y el enfoque interdisciplinar para abordar problemas complejos reales.

2.5. Rasgos distintivos del programa

El programa de maestría en modelado y simulación se formula como una respuesta a la necesidad de formar profesionales cuyo conocimiento, alrededor de metodologías conceptuales, cuantitativas y computacionales, les capacite para enfrentar la solución de problemas que, por su complejidad, requieren la integración avanzada y convergente de herramientas matemáticas y computacionales desde un enfoque interdisciplinar.

Se trata del primer programa de maestría que se propone con esta denominación en el país. Tal como se mencionó previamente, esta maestría se ajusta a las tendencias internacionales e incorpora las necesidades de formación reconocidas a nivel nacional en el área. Es así como su diseño curricular integra el uso transversal del modelado y la simulación a la solución de problemas diversos y en este sentido, como en el nivel de profundidad en la fundamentación matemática, conceptual y computacional, se diferencia de las ofertas nacionales a nivel de especialización en el área. Complementariamente, al fundamentar el programa de M&S en el uso explícito de herramientas computacionales y matemáticas para representar procesos o para simular la evolución de sistemas reales, se diferencia de los programas de matemática aplicada ya que mediante este enfoque se pretende abordar la solución de problemas cuyos resultados puedan usarse en ámbitos concretos. Para ello el programa enfatiza el uso de herramientas computacionales para la obtención de resultados generados mediante *simulaciones* cuyo planteamiento formal, diseño experimental y métodos para el análisis e interpretación de resultados deben estar plenamente justificados en su validez, consistencia matemática, viabilidad computacional y utilidad para la solución de problemas pertinentes.

En previsión de las posibles motivaciones que llevan a un profesional a vincularse a un programa de maestría, se ha planteado la maestría en dos modalidades: de profundización y de investigación. Esta doble modalidad permite que profesionales de diversas áreas del conocimiento elijan, de acuerdo a su interés, ya sea profundizar en el conocimiento y herramientas del M&S para ser aplicados a la solución de problemas industriales, o continuar su proceso de formación investigativa vinculándose a proyectos que generen nuevos conocimientos científicos.

Teniendo en cuenta que la experiencia en modelado y simulación de los equipos docentes e investigadores de las Universidades Central y Jorge Tadeo Lozano conlleva a un espacio de trabajo multidisciplinar, el programa de maestría propuesto ha definido tres Campos Generales de Aplicación que determinan las áreas de investigación y profundización del programa: M&S de sistemas naturales, M&S de sistemas sociales y M&S de sistemas y procesos de ingeniería. Esta propuesta multidisciplinar, enriquece las perspectivas de aplicación del modelado y simulación, al tiempo que soporta, adaptándose a diferentes perfiles, la expectativa e intereses de los candidatos a ingresar en el programa.

Adicionalmente, las fortalezas y experiencia de los grupos de investigación en conjunto con la infraestructura informática con la que cuentan de ambas instituciones facilita el alcance de los estándares de calidad requeridos para aspirar a la excelencia académica en el ejercicio docente e investigador²⁴.

En cuanto al estudiante, debido a la variedad de competencias que desarrollará durante su formación en el programa, como egresado podrá incorporarse a un amplio campo de desempeño laboral que incluye la industria, entidades del sector público, empresas de servicios públicos y privados, y entidades de educación superior. En todos estos campos se reconocen a distintos niveles los beneficios y ventajas de la formación en M&S especialmente en lo referente a la optimización, el control, la cuantificación de incertidumbres, el diseño de mecanismos para toma de decisiones y la respuesta a desafíos en tiempo real.

Por el conocimiento, habilidades, destrezas y competencias adquiridas durante el proceso de formación en la maestría, los egresados podrán desempeñarse laboralmente en los siguientes sectores, ejerciendo las funciones que se describen a continuación:

- En el sector público podrán desempeñarse como asesores, consultores o analistas vinculados al gobierno en los ministerios de minas y energías, agricultura y desarrollo rural, transporte y ambiente o vivienda y desarrollo territorial. También podrán desarrollar este tipo de funciones de análisis en entidades públicas como el DANE, la DIAN y el IDEAM.
- En el sector privado podrán ejercer como consultores de compañías dedicadas a la explotación de recursos naturales y/o analistas de organizaciones dedicadas a la conservación de recursos naturales. Podrán vincularse, también, a entidades que realizan consultoría e investigación económica.
- En el sector empresarial y en la industria se requieren profesionales capacitados para mejorar la planeación y programación de la cadena de suministros; para manejar, optimizar y controlar procesos y equipos; para implementar sistemas de control de riesgos; para programar procesos eficientes y rentables. Todo lo anterior en campos como el petroquímico, el alimentario, el agroindustrial, el informático, el mecatrónico, el metalmecánico y otros.
- En el sector educativo podrán incorporarse a entidades que incluyan dentro del diseño curricular de sus programas, y dentro de las áreas de investigación, el modelado matemático, la simulación computacional y afines.

Los egresados contarán con oportunidades potenciales de vinculación laboral ejerciendo funciones en diferentes frentes del sector productivo. No obstante, es de especial interés para las instituciones en convenio que los estudiantes del programa desarrollen no sólo

²⁴ Véase la tabla y el anexo correspondientes.

habilidades en M&S, sino la visión necesaria que permitiría su aplicación en la innovación tecnológica para el emprendimiento.

3. CONTENIDOS CURRICULARES

El contenido curricular propuesto para la MM&S, traza un plan que orienta y norma el proceso educativo, estableciendo una serie estructurada de resultados de aprendizaje de forma anticipada²⁵. En él se establecen los elementos que fundamentan la formación, a través de un esquema que parte, principalmente, de conjugar el propósito de la maestría, con las competencias y el perfil que se espera del egresado.

El programa ha sido diseñado a partir de la combinación de saberes y potencialidades requeridos actualmente en el M&S, bajo los lineamientos pedagógicos y fortalezas académicas de las universidades que la proponen y con base en los parámetros dados por el ministerio de educación Nacional (MEN)²⁶. Estos contenidos se plantean pedagógicamente, con una función educativa y formativa amplia, en la que el estudiante afianza tanto los conocimientos requeridos en el M&S como las capacidades y destrezas que le permitan transformar el saber conceptual en formas de saber hacer y saber pensar.

Con base en lo anterior, y considerando el contexto social, económico y educativo diverso en el que se inserta la MM&S, el programa se propone en dos modalidades: la modalidad de maestría **de profundización** y la modalidad de **maestría de investigación**. En la primera, se busca que el estudiante adquiera un mayor nivel de conocimiento de las técnicas y metodologías del M&S para aplicarlos a la solución de problemas concretos de los sectores productivos y/o de servicios. Mientras que en la modalidad de investigación, se busca que el estudiante adquiera competencias que le permitan generar y/o desarrollar nuevos conocimientos para la solución de problemas y la satisfacción de necesidades científicas, tecnológicas y de innovación en los diferentes sectores de aplicación del M&S de sistemas y procesos.

Adicionalmente, en concordancia con la misión y los objetivos de las Universidad Jorge Tadeo Lozano y Universidad Central que buscan la formación de profesionales integrales, críticos y comprometidos en el desarrollo social, empresarial, económico, científico y cultural de Colombia^{27,28}. Las dos universidades aúnan esfuerzos en la conceptualización y consolidación del presente contenido curricular con el propósito de ofrecer un programa multidisciplinar riguroso, organizado y de calidad.

3.1 Fundamentación teórica del Programa

El M&S es una disciplina autónoma, pero transversal, que cuenta con sus propios fundamentos teóricos y su metodología de investigación. Esencialmente multidisciplinario en sus aplicaciones, el Modelado y Simulación es, en sí misma, una tecnología clave que se ve obligada a aumentar su presencia en industrias eficientes y departamentos de innovación empresarial.

²⁵ Johnson, M. Jr. 1967. "Definitions and models in curriculum theory". *Educational Theory* 17, 127-140.

²⁶ Ley 1188, 25 abril de 2008

²⁷ Proyecto Educativo Institucional, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Segunda edición, 2002.

²⁸ Proyecto Educativo institucional, Universidad Central. 2001.

Según el Estado del Arte en el ámbito de la metodología de la investigación científica y los estándares para el desarrollo e innovación tecnológicos, el proceso de *modelado* debería constituir una fase explícita de todo trabajo de investigación fundamental o aplicada y, además, de cualquier proyecto en el marco del ejercicio de la Ingeniería. Este requerimiento se ha materializado en los países con un mayor grado de industrialización y desarrollo tecnológico a través de la formalización tanto de los procesos de descripción, como de la matemática, análisis, diseño y validación de hipótesis y/o productos (herramientas, servicios, soluciones técnicas) en todos los campos.

En efecto, el modelado matemático de sistemas (tanto naturales como artificiales) y la experimentación numérica asociada a la implementación computacional de los modelos propuestos, ha incrementado su presencia de manera continua tanto en las actividades de investigación fundamental (en ciencias naturales inicialmente y en humanidades más recientemente) como de investigación aplicada y tecnológica. El Modelado y la Simulación, en consecuencia, han llegado a constituirse, en conjunto, en un cuerpo de conocimientos indispensable para garantizar un ritmo sostenido de crecimiento en el desarrollo tecnológico que empuja el crecimiento económico de las sociedades.

Los modelos formales, provenientes de la física matemática, la dinámica de fluidos computacional, la estática, la física del estado sólido, la teoría de redes, los modelos de optimización basados en cálculo de variaciones, etc., han incrementado su presencia en la descripción de sistemas biológicos, ecológicos, sociales y humanos. Asimismo, se han convertido en herramientas esenciales en la toma de decisiones de diseño, implementación, adaptación y mantenimiento de soluciones tecnológicas en el sistema productivo.

Dichas áreas, a su vez, configuran los tres campos de aplicación que estructuran el programa de Maestría en Modelado y Simulación: 1) Sistemas Naturales, 2) Sistemas y Procesos en Ingeniería y 3) Sistemas Sociales.

En el ámbito internacional, en 1999, reconociendo la relevancia de la disciplina, la importancia para el desarrollo tecnológico y económico y el creciente interés por expandir su uso a campos diferentes a los de las ciencias naturales y la ingeniería, la Dra. Rita R. Colwell -directora de la Fundación Nacional para la Ciencia de los EE.UU. (NSF) para la época- propuso la disciplina del M&S como un tercer componente de la ciencia, al lado de la teoría y la experimentación²⁹.

Diversos trabajos en Metodología, Filosofía e Historia de la Ciencia han expuesto la diferencia entre el enfoque tradicional del modelado -plantear modelos cuyo comportamiento analítico permite probar teorías, describir sistemas naturales o caracterizar herramientas tecnológicas- y la nueva tendencia basada en el M&S, que permite emular el comportamiento de fenómenos, procesos y sistemas, además de

²⁹ Colwell R. 1999. "Complexity and Connectivity: A New Cartography for Science and Engineering". *Remarks from the American Geophysical Union 's fall meeting*. San Francisco.

proponer aproximaciones para la intervención o el diseño tecnológico. La validación de los modelos se fundamenta, bajo esta nueva aproximación, mediante análisis de datos generados computacionalmente. Una de las principales ventajas de la aplicación del M&S en Ciencias e Ingeniería es su enfoque multidisciplinar, asociado al uso de nuevas tecnologías informáticas³⁰.

El M&S, como enfoque metodológico, ofrece además el potencial de ampliar de manera significativa las capacidades del diseño experimental, los rangos de observación y la validación de hipótesis en la investigación científica y aplicada al permitir la recreación de fenómenos y comportamientos. Dichas ventajas se enunciaron por primera vez, de manera formal, en 1998 por el Instituto de Ingenieros Industriales (IIE) a manera de competencias de los profesionales de las Ciencias y la Ingeniería; estas son:

- Elegir correctamente probando cada aspecto de un cambio propuesto sin comprometer recursos adicionales.
- Comprimir o expandir la representación del tiempo para permitir al usuario acelerar o frenar comportamientos o fenómenos para facilitar profundidad en investigaciones.
- Entender el porqué de las observaciones mediante la reconstrucción de un escenario y la evaluación detallada del escenario a través del control del sistema.
- Explorar posibilidades en el contexto de políticas, procedimientos operativos o métodos sin perturbar el sistema real.
- Diagnosticar problemas mediante la comprensión de la interacción entre las variables que componen un sistema complejo.
- Desarrollar comprensión mediante la observación de la operación de un sistema en lugar de predecir cómo operará.
- Visualizar el plan con el uso de animaciones para observar el sistema u organización que está operando.
- Construir consenso para opiniones objetivas ya que M&S puede suprimir inferencias.
- Preparar para el cambio respondiendo a preguntas del tipo “qué tal si” en el diseño y modificación de un sistema.
- Invertir con sensatez ya que un estudio simulado cuesta mucho menos que cambiar o modificar un sistema.

³⁰ Sokolowski J. & C. M. Banks (eds). 2009. *Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach*. John Wiley & Sons.

- Especificar requerimientos para el diseño de un sistema que puede modificarse para alcanzar algún objetivo.³¹

Estas competencias, al estar referidas a la forma de generar y utilizar el conocimiento para desarrollar habilidades, han servido de base para la configuración del perfil que el egresado de un programa de Maestría en Modelado y Simulación debe desarrollar durante su formación.

A continuación se describe brevemente el desarrollo y la pertinencia del Modelado y Simulación como Objeto de Estudio por medio de los tres Campos de Aplicación del M&S, esto es, los Sistemas Naturales, los Sistemas y Procesos de Ingeniería y los Sistemas Sociales. Se enfatizarán aquellas áreas que corresponden a las opciones de profundización e investigación en el marco del programa propuesto.

3.1.1 Sistemas Naturales

El desarrollo de modelos que, de manera rigurosa y simplificada, describen un aspecto particular de la realidad natural, facilitando su comprensión y aportando medios para la predicción de comportamientos, ha acompañado el ejercicio científico desde sus primeros pasos, notoriamente desde la Grecia clásica. Sin embargo, el proceso formal que se conoce actualmente como modelado emergió a través de un arduo proceso de convergencia entre la observación y la abstracción, el cual tuvo sus principales exponentes en los filósofos naturales, matemáticos y astrónomos que recibieron el legado intelectual del Renacimiento.

De particular interés es el trabajo de Johannes Kepler sobre las órbitas de los planetas del Sistema Solar, en el cual propone un modelo heliocéntrico de órbita elíptica que predice, con sorprendente precisión para los recursos matemáticos y el acervo de conocimiento de la época, el comportamiento planetario³²; pero seguramente sea Newton, al sintetizar la física del cielo, o supralunar, y la física del suelo, o sublunar, en un único modelo gravitacional matemático³³, quien enseñó la poderosa economía conceptual de las matemáticas.

Desde entonces, las herramientas matemáticas (y, en general, los fundamentos conceptuales de las ciencias básicas) que permiten representar de manera cuantitativa y, potencialmente, precisa, los comportamientos de los objetos de la naturaleza han evolucionado hacia elevados grados de sofisticación, generalidad y capacidad de representación, llevando la habilidad de comprensión de la realidad del ser humano hasta los límites que imponen a la observación las propias leyes naturales y el nivel de complejidad, escala o accesibilidad de los sistemas bajo estudio.

³¹ *idem.* pág. 22-23.

³² Johannes Kepler. 1997. *The Harmonies of the World*. Tr. Dr Juliet Field. American Philosophical Society.

³³ Newton, I. 1687. *Principios matemáticos de la Filosofía natural*. Ediciones Altaya, S.A. Barcelona.

Recientemente, con la aparición y fortalecimiento de herramientas de cálculo basadas en las ciencias de la computación y las tecnologías informáticas, ha sido posible “rodear” dichos obstáculos mediante el empleo de los modelos que describen, de forma general y sucinta un fenómeno o sistema para la reproducción numérica del comportamiento del mismo; una tarea que es usualmente aludida como “experimentación numérica” o simplemente Simulación³⁴. Así pues, fenómenos que no pueden ser estudiados experimentalmente en condiciones ideales para la obtención de resultados y observaciones relevantes para su utilización en la validación del modelo pueden, de este modo, ser analizados, comprendidos y reproducidos mediante una representación computacional de sus parámetros, dominio y elementos con sus respectivos estados y relaciones.

Diversos programas de posgrado en diferentes países buscan la formación de profesionales capaces de comprender sistemas naturales, aportar a la protección del ambiente y al mismo tiempo garantizar un desarrollo sostenible. Para lograrlo las instituciones universitarias han comenzado a brindar a la sociedad programas de formación, que bajo la perspectiva del uso herramientas de modelado y simulación, permiten avanzar en el cumplimiento de lo siguientes objetivos:

- Crear planes que garanticen que el uso racional de los recursos naturales.
- Generar procesos de ingeniería que permitan revertir o minimizar los efectos negativos causados por el hombre al medioambiente.

Se espera que avanzando en estos propósitos se logre una mejor vigilancia del ambiente integrando datos de todo el mundo; se incorporen modelos para su estudio de modo que se puedan hacer análisis dinámicos de los procesos ambientales y se desarrollen aplicaciones industriales que incrementen la eficiencia desde el punto vista ambiental sin afectar el sistema económico.

Con este fin, se han diseñado planes de estudio que permiten formar profesionales capaces de emplear mediciones de variables pertenecientes a una amplia diversidad de disciplinas (biología, física, química, geología, meteorología, economía), con el fin de generar información útil para la comprensión y/o solución de problemáticas ambientales. Lo anterior, complementado con cursos de laboratorio en los cuales los estudiantes puedan aplicar e integrar los conceptos de las áreas anteriormente mencionadas.

Los egresados de estos programas disponen del conocimiento y destrezas que les permiten desempeñarse como consultores de compañías dedicadas a la explotación de recursos naturales, en organizaciones dedicadas a la conservación y en instituciones educativas que busquen incorporar el componente de modelado y simulación dentro de sus planes curriculares.

³⁴ Discusión en Zavala, J. C., Cordova, A., Anguebes, F. & Robles, J.C. 2006. “Experimentación Numérica Aplicada a un Proceso de Destilación Discontinua”. Inf. tecnol. [online]. Vol.17, N.1

Wagener y McIntyre (2005)³⁵ analizaron los requerimientos que deberían contener las herramientas informáticas necesarias para la enseñanza de modelos matemáticos aplicados a sistemas hidrológicos y ambientales. Dentro de éstos, ellos identificaron como requisitos la necesidad de que las herramientas contaran con interfaces gráficas de usuario, tuvieran una estructura modular, estuvieran basadas en software multipropósito y que su lenguaje fuera fácil de aprender. Ejemplos de herramientas informáticas orientadas a la identificación y evaluación de modelos aplicadas a estudiantes de pre y posgrado en los Estados Unidos e Inglaterra demostraron su facilidad y flexibilidad de uso para ser empleadas como herramientas de aprendizaje cumpliendo los requisitos mencionados anteriormente en diversas áreas de aplicación.

En la misma línea de pensamiento, Karssenbergh y Burrough (2000)³⁶ propusieron la creación de un paquete informático o lenguaje de modelado que funcionara con conceptos y operaciones que fueran familiares para el científico ambiental. Fue así como el equipo de investigación de la Universidad de Utrecht desarrolló el lenguaje de modelado aplicado a las ciencias ambientales y para fenómenos espacio-temporales con el fin de enseñar el modelado en tres niveles: 1) para explicar los procesos ambientales y sus modelos, 2) para la enseñanza de la construcción de modelos y 3) con el fin de enseñar todas las fases del modelado científico. La implementación de esta herramienta informática en los cursos relacionados fue bastante positiva permitiendo que los estudiantes aprendieran de forma fácil los temas tratados. El programa propuesto incorporará, en este campo, este tipo de herramientas y su enfoque metodológico.

En Brasil, la enseñanza de temas relacionados con el modelado aplicado a las ciencias naturales y ambientales ha cobrado bastante importancia durante la última década. Los formatos de educación varían desde cursos cortos hasta diferentes tipos de cursos de extensión donde los principales temas giran alrededor de la introducción al modelado, modelos climáticos, modelos de interacción entre biosfera y atmósfera, modelos dinámicos de vegetación y modelos hidrológicos.

El modelado aplicado, es decir que sea útil para la mejorar la comprensión de un fenómeno o solucionar un problema determinado, ha cobrado gran interés entre la comunidad académica internacional. Durante las últimas décadas las ciencias biológicas y ambientales también han hecho uso de modelos matemáticos como herramienta para entender y explicar diferentes fenómenos con distintos grados de complejidad. Hoy en día las ciencias biológicas y ambientales están aplicando un enfoque de integración de sistemas para comprender las relaciones que se presentan entre los diferentes componentes del ambiente, incluido el hombre. El alto nivel de complejidad que presentan dichas relaciones ha hecho que una de las herramientas más utilizadas sean los

³⁵ Wagener T, N. McIntyre. 2005. "Identification of rainfall-runoff models for operational applications". *Hydrological sciences journal des sciences hydrologiques*. Vol:50, Pages:735-751.

³⁶ Karssenbergh, D. & P.A. Burrough. 2000. "Teaching numerical modelling in the environmental sciences, keynote". In *International Conference on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling: Problems, Prospectus, and Needs for Research*. B.O., sept 2-8.

modelos matemáticos y estadísticos. También es creciente el interés científico por avanzar hacia lo que algunos han llamado la biología teórica, es decir, hacia una ciencia natural con principios y leyes naturales que puedan formalizarse en códigos matemáticos. Es en este sentido que la comprensión del fenómeno de la vida, entendido como un sistema físico-químico complejo, ha empezado a abordarse mediante la simulación de grandes números de moléculas orgánicas con relevancia biológica.

Los modelos modernos aplicados a las ciencias biológicas y ambientales combinan habilidades en sistemas de información geográfica, cartografía y análisis espacial con el manejo de los datos, matemáticas no lineales, teoría de sistemas e ingeniería, entre otros. Lo anterior demuestra el carácter interdisciplinario que hoy demanda el desarrollo de modelos complejos que estén en capacidad de explicar diversos tipos de fenómenos sin perder de vista las interconexiones existentes entre los diversos componentes de la naturaleza.

Hoy en día, el uso de modelos en aplicaciones biológicas y ambientales demanda unas características especiales tales como: complejidad (dimensión, estructura con los sistemas bióticos y abióticos), escala (cantidad de datos, distribución, heterogeneidad), propósito (análisis de escenarios, respuestas de emergencia, manejo de riesgos), necesidad de adaptabilidad (unión de modelos, ajuste de parámetros), longevidad de los datos y aplicabilidad a diferentes propósitos.

A un nivel más alto de aplicabilidad los modelos han venido siendo incorporados a sistemas de soporte a la decisión (DSS, por sus siglas en inglés) en diversas problemáticas relacionadas con temas ambientales y desarrollo sostenible. Dichos sistemas hacen uso de datos y modelos con el fin de apoyar el reconocimiento y la solución de problemas complejos, pobremente estructurados o no estructurados que permitan mejorar la toma de decisiones. En la actualidad existe la tendencia hacia una mayor eficiencia en la utilización de datos interdisciplinarios, integración y visualización de resultados espaciales y temporales. Los retos hacia el futuro están relacionados con lograr un nivel de representación de la realidad más alto por parte de los modelos, mejorar la interacción del usuario final con la herramienta y su utilización en el contexto de grupos de discusión o negociación.

A pesar de los importantes desarrollos científicos durante las últimas décadas, la integración de estos modelos con los procesos de toma de decisiones representa uno de los retos más difíciles en temas ambientales. Liu et al (2008)³⁷ haciendo una revisión de este tema a través de un caso de estudio identificaron varios puntos clave a tener en cuenta cuando el modelado es adoptado como estrategia para apoyar la toma de decisiones en sistemas ambientales complejos. Los autores destacan la importancia de una buena definición de preguntas, el contar con un modelado conceptual explícito, disponer de una estrategia de multi-resolución y aplicar un enfoque de análisis de

³⁷ Liu, L., M.I. Mishchenko, & W.P. Arnott. 2008. "A study of radiative properties of fractal soot aggregates using the superposition T-matrix method". *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 109, 2656-2663.

escenarios formales. De hecho, en el documento “BIO2010” de Estados Unidos³⁸ se recalca la importancia de la formación interdisciplinaria para enfrentar los problemas de mayor complejidad y relevancia en el ámbito de las ciencias naturales, particularmente las biológicas.

3.1.2 Sistemas Sociales

Las Ciencias Sociales son una extensa área del conocimiento que aborda un diverso espectro de disciplinas centradas en las relaciones entre los seres humanos y de éstos con su entorno. Este campo ha evolucionado en paralelo con el reto de compaginar la búsqueda de la verdad científica con los puntos de vista, intereses y particularidades de los grupos humanos que históricamente han definido sus propios objetos de estudio en el ámbito de los sistemas sociales o de algunas humanidades. Incluso algunas áreas debaten todavía si su carácter, métodos y fines corresponden a este campo –el de la ciencia cuantitativa- o configuran uno propio (es el caso de algunas escuelas económicas y sociológicas).

Aun así, existe un consenso más o menos generalizado y creciente entre diversas corrientes y escuelas de pensamiento de las Ciencias Sociales respecto a la *naturaleza científica* de sus disciplinas y de los métodos empleados por las mismas para la caracterización, descripción formal y reproducción “experimental” de los sistemas humanos (sociopolíticos, económicos, culturales, educativos, etc.) abordados por los científicos sociales. Bajo esta premisa, el ejercicio de la investigación en Ciencias Sociales viene sufriendo una profunda transformación que permite que los conocimientos cualitativos recabados por disciplinas como la Sociología y la Antropología –o incluso áreas con un alto componente de subjetividad en sus objetos de estudio, como la Psicología Social- incorporen métodos provenientes del modelado matemático para su aplicación en estudios a gran escala de comportamientos de grupos humanos³⁹.

La introducción de las herramientas del Modelado y la Simulación⁴⁰, si bien no supera (ni pretende superar a través suyo) la subjetividad intrínseca a algunas disciplinas de las Ciencias Sociales, sí ofrece un enorme potencial para el ejercicio de investigación en el marco de las mismas que anteriormente se caracterizaba por limitaciones en su componente práctico asociadas a las dificultades en la formalización y validación de modelos y, a través de ellos, de hipótesis y teorías.

Por medio de herramientas matemáticas como las provenientes de la Teoría de Grafos, las Redes -particularmente el campo de las Redes Sociales, de reciente desarrollo- y de la Inteligencia Computacional -Autómatas Celulares, Modelado Basado en Agentes, Agentes

³⁸ “National Research Council of the National Academies”. 2010, documento que consigna los lineamientos básicos a seguir para la enseñanza e investigación de la Biología del siglo XXI,

³⁹ Hegselmann R. et al. (eds.). 1996. “Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View”. *Theory and Decision Library*. Dordrecht: Kluwer, 77-100.

⁴⁰ “An agenda for socio-economic research in sustentable development themes (2007-2013)” en donde se presenta la agenda de investigación de la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos.

Inteligentes, etc.- ha sido posible introducir conceptos que, en principio, se presentan como métodos ambiciosos de representación de fenómenos colectivos en sistemas humanos colectivos a gran escala. Tal es el caso de las Sociedades Artificiales⁴¹ que persiguen un replanteamiento profundo de la aplicación de las Ciencias sociales en ciertos casos de estudio mediante la caracterización de intrincados comportamientos colectivos a partir de la puesta en marcha de reglas simples de comportamiento individual (personas, grupos, etc.)

Aproximaciones basadas en la reproducción del comportamiento conjunto de individuos dotados de reglas básicas de comportamiento han permitido, además, la simulación de otros comportamientos colectivos que presentan analogías con sistemas físicos y naturales. La relación entre ambos tipos de problemas se hace explícita mediante algunos métodos de campos como la Sociofísica y la aplicación de modelos basados en agentes con analogías formales en campos diversos como los fenómenos moleculares, la termodinámica, la epidemiología, la difusión de comportamientos y conocimientos en entornos sociales, etc.⁴²

Los enfoques metodológicos tradicionales para aproximarse al estudio empírico de variables relevantes en los sistemas humanos estudiados por las Ciencias Sociales han estado fundamentados fuertemente en la estadística, aplicada sobre parámetros más o menos objetivos medidos directamente a partir de estudios de campo. Estas aproximaciones no son reemplazadas por las nuevas herramientas propias del M&S, sino que se complementan y extienden, tanto a nivel conceptual como operativo, al contar con los datos resultantes de procesos de modelado y experimentación numérica⁴³ lo cual fortalece la investigación rigurosa en las diferentes áreas de conocimiento propias de las Ciencias Sociales.

Las ciencias económicas, por su parte, cuentan con una tradición de más de medio siglo en la implementación de modelos y simulaciones adaptados especialmente de la física. No obstante, recientemente han experimentado un creciente interés por el uso de herramientas matemáticas y computacionales robustas que expliquen los comportamientos de los sistemas económicos y productivos a diferentes escalas. Aunque inicialmente se contaba con representaciones meramente descriptivas – propias de los albores de las escuelas económicas –, recientemente han aparecido teorías y campos de estudio cuyos fundamentos y herramientas requieren de formalidad matemática, rigurosidad experimental y simulación computacional.

⁴¹ Epstein J. M. & R. Axtell. 1996. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. The Brookings Institution. Washington, DC, USA.

⁴² Davidsson P. 2000. "Multi Agent Based Simulation: Beyond Social Simulation". *3rd Workshop on Multi Agent Based Simulation (MABS)*, LNAI. pages 97--107, Springer.

⁴³ Snijders, T. A.B. 2001. "The Statistical Evaluation of Social Network Dynamics". *Sociological Methodology*. edited by M.E. Sobel and M.P. Becker. Boston and London: Basil Blackwell. Pages. 361-395 in

En efecto, trabajos como el de Becker (2000)⁴⁴ han señalado la importancia de la formalización matemática de los modelos usados en las diferentes áreas de estudio de la Economía, así como del contraste de la fundamentación teórica de éstas con datos empíricos. Esto ha dado un impulso particular a la Econometría, como campo de aplicación de modelos cuantitativos que permiten la caracterización de los comportamientos de los sistemas económicos. En el contexto Latinoamericano, esta preocupación por encontrar mayores grados de rigor conceptual y matemático ha sido plasmada en el balance publicado por Lora y Ñopo (BID 2009)⁴⁵ el cual, igualmente, da especial preponderancia al proceso de formulación, enseñanza y validación de modelos econométricos.

En esta perspectiva, ya en 1959, Valavanis⁴⁶ había dado una definición de Econometría:

“El objetivo de la econometría es expresar las teorías económicas bajo una forma matemática a fin de verificarlas por métodos estadísticos y medir el impacto de una variable sobre otra, así como predecir acontecimientos futuros y dar consejos de política económica ante resultados deseables.”

Esta perspectiva contribuye al abordaje de problemas de creciente complejidad o no completamente resueltos o descritos, siendo, en el caso particular de la Economía, de vital importancia para el funcionamiento y viabilidad de la sociedad. Dentro de los asuntos de especial actualidad que atañen a este tipo de metodologías se encuentran las recientes crisis económicas y financieras, la propagación mundial de los shocks económicos, las relaciones entre el comportamiento de la economía y los fenómenos sociales y políticos, etc.

El impacto del M&S en el ejercicio del estudio de la economía mejora el nivel de certidumbre alrededor de la toma de decisiones sobre política económica, política social, optimización de la inversión y de procesos en contextos públicos y privados.

Por otra parte, en los ambientes y sistemas educativos, en las dos últimas décadas, debido a la implementación con fines educativos de equipos y programas de cómputo cada vez más robustos, pero también al desplazamiento de la enseñanza basada en contenidos hacia el desarrollo de capacidades para aprender a aprender, se ha incrementado el uso del M&S como herramienta para mejorar el aprendizaje de estudiantes, especialmente en áreas relacionadas con las ciencias exactas, naturales y económicas. Simultáneamente, se ha profundizado el concepto de evaluación educativa y, con éste, se han desarrollado modelos y simuladores de evaluación educativa que permiten por ejemplo, calibrar la

⁴⁴ Becker W. 2000. “Teaching Economics in the 21st Century”. *The Journal of Economic perspectives*. Vol.14 No.1

⁴⁵ Lora E. & Ñopo H. 2009. “La Formación de los Economistas en América Latina”. *Documentos de trabajo BID*.

⁴⁶ Valavanis S.1959. *Econometrics: an Introduction to Maximum Likelihood Methods*. New York and London, McGraw-Hill.

objetividad, según el grado de dificultad de un conjunto de preguntas y evaluaciones que sin estas herramientas no resultaban comparables.

Según Rodríguez “una simulación educativa es una poderosa técnica que enseña algunos aspectos del mundo mediante su imitación o réplica. Está basada en un modelo de un sistema o fenómeno del mundo real en el que se han simplificado u omitido algunos elementos para facilitar el aprendizaje”⁴⁷. Es por esto que muchos de los modelos y simulaciones con fines educativos han sido desarrollados, también, para superar ciertas restricciones experimentales y han conducido al desarrollo de laboratorios virtuales para el aprendizaje.

Penner sostiene que los modelos sugieren ideas acerca de dónde buscar los componentes críticos que emergen en un fenómeno a la vez que mueven las ideas desde la mente individual hacia un foro público donde pueden ser discutidas⁴⁸.

Si bien la simulación opera bajo ciertas restricciones, permite representar procesos y fenómenos, discriminar los aspectos esenciales de una situación problemática, hacer deducciones sobre el comportamiento de un sistema controlando y alterando variables y, en general, mejorar la interpretación de teorías al evaluar la correspondencia entre éstas y una solución simulada.

En el contexto de la evaluación educativa se han involucrado los conceptos de competencias y se han vinculado elementos cognitivos como la resolución de problemas, la creatividad, el pensamiento crítico, el análisis textual y otros. Se han desarrollado modelos relacionados con la medición de atributos del ser humano que son abordados por la psicometría desde dos perspectivas: la Teoría Clásica (TC) y la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI)⁴⁹. En la TC se presentaron problemas como el diseño de los instrumentos (tests), la identificación de preguntas con dificultades como el sesgo, la ambigüedad o funcionamiento diferencial, la imposibilidad de realizar estudios de comparabilidad entre los puntajes obtenidos por los estudiantes que presentan una prueba, entre otros⁵⁰. El uso de la TRI con uno (modelo de Rasch)⁵¹, dos o tres parámetros, permite procesar los datos obtenidos en una prueba, mide una serie de parámetros - entre los cuales se tienen la confiabilidad, la consistencia interna y la unidimensionalidad- que dan validez estadística al instrumento de evaluación utilizado. La TRI permite determinar la habilidad de los

⁴⁷ Rodríguez Ch. Lilia. 2009. “La simulación computarizada como herramienta didáctica de amplias posibilidades”. *Revista Cubana de Informática Médica*. No. 1 Año 2009 ISSN: 1684-185.

⁴⁸ Penner, D. 2001. “Cognition, computers, and synthetic science: building knowledge and meaning through modeling”. En: W. Secada (Ed.) *Review of Research in Education 25*. Washington D.C. American Educational Research Association.

⁴⁹ Muñiz, J., & R. K. Hambleton. 1992. “Medio siglo de Teoría de Respuesta a los Ítems”. *Anuario de Psicología*. (52), 41-66.

⁵⁰ Wright, B., & M. Stone. 1998. *Diseño de mejores pruebas utilizando la técnica de Rasch*. México: Ceneval.

⁵¹ Rasch, G. 1961. “On general laws and the meaning of measurement in Psychology”. *Proc. Fourth Berkeley Symp. on Math. Statist. and Prob., Vol 4* (págs. 321-333). Berkeley: University of California Press.

estudiantes y señalar los ítems que pueden actuar como anclaje para tener un instrumento validado y calibrado.

3.1.3 Sistemas y Procesos en Ingeniería

En el ámbito de las diferentes disciplinas de la Ingeniería, el M&S tiene un carácter fundamental que trasciende el enfoque propio de las Ciencias Naturales de describir, caracterizar y predecir comportamientos. En Ingeniería, además, el M&S se ha convertido en un componente metodológico indispensable para tareas propias de la Ingeniería como el diseño (prototipado), la optimización y la validación de las herramientas desarrolladas.

Esta diferencia introduce, además, particularidades en la manera como el M&S se incorpora a los procesos de análisis, diseño, implementación y validación de herramientas tecnológicas. De esta manera, el M&S se está convirtiendo en un componente de importancia fundamental para cualquier proyecto de ingeniería, tanto en espacios académicos (investigación aplicada) como en proyectos de desarrollo tecnológico para el diseño, la producción, la aplicación/adaptación y la propia comercialización en el sector productivo. La Fundación Nacional de la Ciencia en EEUU ha publicado un documento de balance y perspectivas⁵², que presenta un amplio espectro de aplicaciones y potencialidades del M&S en Medicina, Seguridad social, Ciencia e Ingeniería de los materiales, fenómenos multiescala, adquisición de datos en tiempo real y uso de los mismos y control avanzado de procesos, entre otros.

En efecto, varias resoluciones de la Cámara de Representantes de ese país (H.Res.) reconocen y dan soporte administrativo y presupuestal a las actividades de Modelado y Simulación llevadas a cabo en este país por instituciones académicas y empresas. De este modo, la resolución H.Res. 487 reconoce el Modelado y la Simulación como una Tecnología Crítica para el Interés Nacional de ese país. La resolución H. Res. 4165, por su parte, formaliza la destinación presupuestal para la promoción del estudio del Modelado y la Simulación en las universidades estadounidenses; en casos particulares, la resolución H.Res. 4321 plantea la creación de Centros de Excelencia en Modelado y Simulación en los Departamentos de Salud y Servicios Humanos del gobierno de EEUU y la resolución H.Res. 5658 establece los estándares de Simulación empleados por contratistas y funcionarios del Departamento de Defensa.

El M&S ha tenido grandes avances gracias a la creación y generalización de herramientas matemáticas que emergieron de necesidades concretas en diversas áreas de la Ingeniería. Es conocido el caso de la Interpolación basada en Splines, cuya formalización surgió a partir de los trabajos independientes de Pierre Bézier (en Renault) y Paul de Casteljau (en Citroën) como herramienta para el diseño preciso y reproducible de superficies curvas en el desarrollo de piezas para automóviles.

⁵² NSF (2006) Simulation-Based Engineering Science. Revolutionizing Engineering Science through Simulation.

El avance en poder de cómputo que soporta la simulación mediante herramientas informáticas ha permitido, por su parte, que las técnicas de diseño y validación basadas en experimentación numérica complementen y, en ocasiones, reemplacen a los métodos clásicos. Uno de los casos más representativos es el del diseño de piezas que deben cumplir características hidro- o aerodinámicas (aeronáutica, industria automotriz, etc.). La robustez de las simulaciones basadas en Dinámica de Fluidos Computacional⁵³ ha conducido a un replanteamiento en el uso de los túneles de viento y la forma como éstos son usados, ahora, de forma complementaria con los resultados de los experimentos numéricos⁵⁴.

En forma similar, la simulación de procesos moleculares⁵⁵, posible desde múltiples y diversas aproximaciones (desde la mecánica cuántica, pasando por la mecánica clásica, hasta la mecánica estadística), ha propiciado enormes avances en la producción de nuevos materiales y la mejora de procesos industriales en relación con las características físico-químicas de los compuestos empleados. Dentro de los temas actuales de investigación en el área se encuentra la optimización de las propiedades energéticas de combustibles - particularmente en el desarrollo y validación práctica de biocombustibles⁵⁶ y nuevas fuentes energéticas⁵⁷-, la reducción del impacto ambiental en procesos de combustión o transformación de reactivos⁵⁸, la mejora en la eficiencia de procesos químicos industriales a través del diseño de catalizadores⁵⁹, etc. Los resultados de la actividad investigadora en estos campos son de gran relevancia para la sostenibilidad económica y la evaluación y reducción del impacto medioambiental de las actividades industriales a escala global, en función de su recepción y aplicación en el sector productivo y en la estructuración de políticas públicas (ambientales, de inversión, energéticas, etc.).

Además de las tecnologías necesarias para la simulación numérica a partir de modelos matemáticos clásicos, en la evolución de los métodos y conceptos propios de la ingeniería han aparecido nuevas soluciones basadas en la aplicación de conceptos y herramientas computacionales. Éste es el caso de las Simulaciones Basadas en Eventos Discretos, las cuales, soportadas en la probabilidad, el análisis numérico y las técnicas de generación de números aleatorios, han dado origen a métodos como la Integración por Montecarlo, la Simulación de Colas, los Autómatas Celulares, los Modelos Lattice-Boltzmann, los Agentes Inteligentes y otros.

⁵³ AIAA 98-2513 Getting the Full Benefits of CFD in Conceptual Design W.H. Mason, DL.Knill, A.A. Giunta, B. Grossman and L.T. Watson Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.

⁵⁴ Relative roles of computational fluid dynamics and wind tunnel testing in the development of aircraft S. S. Desai, CURRENT SCIENCE, VOL. 84, NO. 1, 10 JANUARY 2003

⁵⁵ WTEC Panel Report on Applications of Molecular and Materials Modeling. January, 2002

⁵⁶ Implications of a Future Global Biofuels Market for Economic Development and International Trade. Report of the John F. Kennedy School of Government Workshop on Biofuels, May 9, 2007. HARVARD UNIVERSITY.

⁵⁷ Roadmap 2050: A practical Guide to A Prosperous Low-Carbon Europe.

⁵⁸ Securing Industrial Control Systems in the Chemical Sector. Roadmap Awareness Campaign – A Case for Actions.

⁵⁹ Technology RoadMap Catalysis. Catalysis, key to sustainability. <http://www.viran.nl/Technology%20Roadmap%20Catalysis%20Report.pdf>.

Estas nuevas formas de modelar problemas de ingeniería, sumadas a los avances en Análisis Funcional, han permitido estudios a profundidad de Planeación de Procesos y Programación de Cadenas de Suministros, cuyos resultados han permitido mejorar, desde el punto de vista de la optimización, variables relevantes como costos, nivel de riesgo, robustez, etc. Entre otros, se destacan trabajos sobre la optimización del suministro de alimentos a escala mundial⁶⁰. En estrecha relación con los avances tecnológicos necesarios para la implementación computacional de la experimentación numérica propia del M&S, las Ciencias de la Computación han experimentado enormes avances en las herramientas y métodos disponibles para el procesamiento y almacenamiento masivo de grandes volúmenes de información. Esto ha dado lugar a la formulación de modelos matemáticos y algorítmicos propios de los procesos de adquisición, almacenamiento, acceso, navegación, visualización e interpretación automatizada de grandes conjuntos de datos de diferentes tipos y fuentes. La formalización de dichos modelos ha conducido a la aparición nuevas disciplinas dentro de las Ciencias de la Computación, como el Procesamiento Distribuido, la Recuperación de Información (information retrieval), la Visión por Computador, etc. Estas disciplinas, además, han servido como soporte a nuevas técnicas y métodos para la búsqueda de tendencias fenomenológicas y análisis basados en agrupamientos. En la convergencia de estos métodos con las aplicaciones en investigación fundamental aparecen campos de particular vigencia e interés como el de la Bioinformática.

Tal como se mencionó anteriormente, en definitiva, todas las disciplinas de la ingeniería - y así concluye al respecto el reporte de la National Science Foundation⁶¹ - deberán adoptar los beneficios y ventajas que resultan del modelado y la simulación, especialmente en lo referente a la optimización, el control, la cuantificación de incertidumbres, el diseño de mecanismos para toma de decisiones y la respuesta a desafíos en tiempo real, para su incorporación al desarrollo en el mundo competitivo del siglo XXI.

3.2 Propósitos de formación, competencias y perfiles (profesional y ocupacional) definidos.

3.2.1 Propósitos de Formación

La maestría en Modelado y Simulación tiene como propósito general formar profesionales altamente capacitados para la búsqueda de soluciones a problemas complejos mediante la generación y/o aplicación de conocimientos en el área del modelado y simulación de sistemas y procesos, en los ámbitos de la ingeniería y las ciencias aplicadas.

Esta maestría ofrece dos modalidades de formación: profundización e investigación. En la primera, se busca que el estudiante adquiera un mayor nivel de conocimiento de las técnicas y metodologías del modelado y la simulación para aplicarlos a la solución de problemas concretos de los sectores productivos y/o de servicios. Mientras que en la

⁶⁰ Managing Global Food Supply Risks: A Scenario Planning Perspective. POMS 20th Annual Conference, Florida, USA, 2009.

⁶¹ Simulation-Based Engineering Science. Revolutionizing Engineering Science through Simulation: Report of the National Science Foundation (U.S.A.), (2006)

modalidad de investigación, se busca que el estudiante adquiera competencias que le permitan generar y/o desarrollar nuevos conocimientos para la solución de problemas y la satisfacción de necesidades científicas, tecnológicas y de innovación en los diferentes sectores de aplicación del modelado y simulación de sistemas y procesos.

El logro de estos propósitos de carácter general está ligado al cumplimiento de los siguientes propósitos específicos:

- Fomentar la investigación en el área del modelado y simulación como herramienta de apoyo para la solución de problemas reales en los sectores industrial, productivo y de servicios en el ámbito nacional e internacional.
- Brindar una visión integral de las herramientas, técnicas y metodologías del modelado y simulación en áreas relacionadas con la formulación de modelos matemáticos, solución de ecuaciones diferenciales, análisis estadístico de datos experimentales, simulación de fenómenos en los ámbitos de la ingeniería y las ciencias aplicadas en sectores tales como industrial, biológico, ambiental, socio-económico, educativo, entre otros.
- Brindar la fundamentación teórica y metodológica que permita a los estudiantes contar con las competencias y habilidades necesarias para gestionar y ejecutar proyectos de investigación y/o desarrollo tecnológico, con rigor técnico y científico, en las áreas mencionadas.
- Promover la interdisciplinariedad como elemento fundamental para la realización de proyectos exitosos de investigación y/o desarrollo en el área del modelado y simulación de procesos y sistemas.

3.2.2 Competencias

El programa de MM&S orienta la formación del estudiante hacia la adquisición de competencias generales y específicas que posibiliten su desempeño en diferentes contextos de aplicación. Tales adquisiciones se definen con base en el concepto de competencia propuesto por la Universidad Central⁶² como “aquello que hace ser”, es decir, el conjunto de condiciones que deben darse para que un hacer conduzca a una realización, el cual no se limita exclusivamente al saber hacer (competencia cognitiva), sino que involucra un conjunto mucho más vasto de determinaciones, cuya consideración da sentido a la idea de una educación integral que se ha postulado como principio fundamental de la educación superior. De esta manera las competencias que deben adquirir los egresados de la maestría en M&S, pueden vincular o bien la motivación (en la forma del querer o del deber) o las aptitudes (en la forma del saber o del poder) con un hacer (proceso) o con un ser (estado).

⁶²Las Competencias. Vicerrectoría Académica. Universidad Central. 2009

3.2.2.1 Competencias Genéricas

Entendidas como el conjunto de condiciones que subyacen a cualquier desempeño de un profesional, independientemente del campo de conocimiento específico de su titulación⁶³. Su adquisición debe ser garantizada por todos los componentes del proceso formativo. La definición de estas competencias surge de un proceso de análisis de las competencias genéricas propuestas por el proyecto Tuning América Latina⁶⁴, en concordancia con la definición de competencia expresada previamente. Así, se acogen como competencias genéricas, que deberán ser adquiridas por los egresados de la maestría en M&S, las propuestas por el proyecto pedagógico de la Universidad Central que guardan coherencia e identidad con el modelo pedagógico y el proyecto educativo institucional de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Éstas son:

- Competencia para realizar análisis y síntesis que permitan el movimiento entre lo concreto y lo abstracto. El análisis permite descomponer lo concreto en sus múltiples determinaciones, convirtiéndolo en un objeto de pensamiento, es decir en algo abstracto que puede separarse en gran medida de lo inmediato y lo percibido. La síntesis permite avanzar desde la mirada unilateral de las abstracciones hacia la aprehensión de lo individual que hay en la totalidad.
- Competencia para enfrentar problemas prácticos usando conceptos elaborados. Un concepto elaborado tiene como característica distintiva el que su sentido no depende de los marcos inmediatos de experiencia e interacción, los cuales se espera sean usados para enfrentar problemas prácticos durante su ejercicio profesional.
- Competencia para la autoformación continua, a lo largo de la vida. Se refiere al establecimiento de un vínculo con el conocimiento que, para el sujeto, no finaliza en un punto terminal del ciclo educativo, sino que se prolonga por toda la vida a través de procesos continuos de desarrollo intelectual y espiritual que se sirven de los variados recursos que la vida en sociedad ofrece.
- Competencia para entablar una comunicación de nivel profesional. La cual debe incluir diferentes modalidades de comunicación (oral, escrita o audiovisual) con personas con diferentes niveles de formación y de diferentes disciplinas.
- Competencia ética. La competencia ética se expresa como una toma a cargo por parte del sujeto, de reglas que previamente fueron postulados por quienes estaban investidos de autoridad para ello.

3.2.2.2 Competencias Específicas

Entendidas como aquellas condiciones necesarias para efectuar las realizaciones propias del campo de estudio del M&S. Las competencias específicas que adquirirán todos los

⁶³ Las Competencias. Universidad Central. 2009 (Pág 5).

⁶⁴ Beneitone P. et al. 2007. *Reflexiones y perspectivas de la Educación Superior en América Latina*. Universidad de Deusto.

egresados del programa están definidas según cuatro ámbitos de desempeño: investigar, diseñar, gestionar e intervenir.⁶⁵

Ámbitos de Desempeño	Competencias
Diseñar	Demostrar una comprensión profunda de los conceptos, técnicas, herramientas y metodologías fundamentales del modelado matemático y la simulación numérica y computacional.
	Construir modelos matemáticos que describan situaciones complejas, a partir del análisis de sistemas y procesos del mundo real.
	Utilizar las herramientas computacionales de cálculo numérico y simbólico para simular el comportamiento de sistemas y procesos del mundo real.
Investigar	Utilizar fundamentos matemáticos y técnicas computacionales para plantear y resolver problemas en diferentes ámbitos de aplicación.
	Formular esquemas experimentales para la validación de modelos matemáticos y herramientas de simulación.
	Interpretar resultados experimentales y presentar conclusiones cualitativas a partir de datos cuantitativos con rigor técnico y científico.
Gestionar-Intervenir	Proponer y ejecutar proyectos de Investigación, desarrollo e innovación para el estudio y análisis de sistemas y procesos en las organizaciones.
	Definir o modificar procesos en las organizaciones a partir de resultados de modelos y simulaciones numéricas.

Tabla 3.1. Competencias específicas de la MM&S

3.2.3 Perfil profesional

El egresado de la Maestría en Modelado y Simulación se caracterizará por ser un profesional que:

- Asume su labor profesional con responsabilidad, sentido ético, compromiso social y respeto a los demás.
- Se preocupa por la comprensión de los problemas a los que debe dar solución.
- Formula, gestiona, ejecuta y/o valida estrategias para la solución de problemas o el mejoramiento de procesos en los ámbitos académico, productivo y de servicios, con sentido crítico y rigor metodológico.
- Se mantiene constantemente actualizado en los aspectos relacionados con su campo de acción.

⁶⁵Las Competencias. Universidad Central. 2009 (Pág 9)

- Promueve y lidera el desarrollo de una cultura científica y de innovación en las organizaciones donde labora.

El egresado que desarrolla la maestría en la modalidad de investigación se caracterizará además por mantener un continuo interés por la generación y difusión de conocimiento científico en el área de modelado y simulación y sus aplicaciones.

3.2.4 Perfil ocupacional

Al finalizar la maestría en modelado y simulación los egresados podrán desempeñarse a nivel profesional trabajando en los siguientes ámbitos:

- En la formulación, gestión y ejecución de proyectos de innovación, desarrollo, transferencia y adaptación tecnológica, en empresas productivas o de servicios del sector público o privado.
- Como asesores del gobierno para los ministerios de minas y energías, agricultura y desarrollo rural, transporte y ambiente, vivienda y desarrollo territorial, educación, trabajo y salud.
- En el desarrollo de modelos matemáticos, simulaciones y software especializado en empresas del sector privado y mixto como: ECOPETROL, BP, Cenicaña, Cerromatoso, Nutresa, Team, etc.
- Desempeñarse como investigadores en Instituciones de Educación Superior.
- Dirigir proyectos de investigación y desarrollo en empresas de los sectores productivos y/o de servicios o en Instituciones de Educación Superior.
- Acceder a programas de formación doctoral en universidades nacionales y extranjeras.

3.3 Estructura y organización curricular

3.3.1 El plan general de estudios representado en créditos académicos

Con el fin de lograr una cobertura temática distribuida de forma coherente, y acorde con el propósito de ofrecer un programa robusto en sus fundamentos y variado en sus campos de aplicación, el plan de estudios de la Maestría se organiza en tres componentes: un primer componente de asignaturas básica o disciplinar donde se garantiza la adquisición de conceptos y herramientas básicas para el modelado y la simulación; un componente flexible de formación avanzada, donde se enfatiza en herramientas y conceptos orientados hacia alguno de los campos Generales de aplicación ofrecidos por la Maestría y elegido por el estudiante a través de las optativas. Recordando que la Maestría presenta dos modalidades bajo un único registro, investigación o profundización, el tercer componente demarca este rumbo, ya que en éste se desarrollan las habilidades cognitivas para la apropiación, generación y uso crítico de los resultados de investigación y desarrollo. Por lo tanto, los créditos de la maestría de acuerdo a la modalidad son de 50

créditos para la modalidad de profundización y 58 créditos para la modalidad de investigación, como se muestra en la Tabla 3.2.

PLAN DE ESTUDIOS POR CRÉDITOS		
	No. Créditos	No. Créditos
	Maestría de investigación	Maestría de profundización
Componente básico o disciplinar	19	19
Componente de formación avanzada o flexible	8	8
Componente de investigación o profundización		
Seminario I	4	4
Seminarios II	4	3
Proyecto de grado	8	6
Trabajo final de maestría	15	10
Total de créditos	58	50

Tabla 3.2 Distribución de créditos por asignaturas.

3.3.2 Componente de la estructura curricular

3.3.2.1 Componente básica o disciplinar

Este componente tiene como objetivo formar en los fundamentos conceptuales, las herramientas y las técnicas necesarias para ampliar y desarrollar conocimientos y competencias en el área del M&S. Para ello, tal como se desprende de las tendencias y el estado del arte en la formación en M&S, se quiere garantizar que los estudiantes adquieran formación en cuatro ejes que articulan la disciplina: (1) la fundamentación conceptual, teórica y filosófica del M&S, (2) la visión integrada y transversal de los sistemas dinámicos, (3) la apropiación de conceptos de uso algorítmico y aplicación computacional y (4) la apropiación de conceptos y herramientas estadísticas para el M&S.

Para la comprensión de las unidades del programa se proponen las asignaturas que se muestran en la tabla 3.3.

Componente básico o disciplinar		
Asignatura	No. de créditos	Horas/semana
Fundamentos matemáticos para M&S	3	4
Principios del M&S	4	4
Programación y análisis numérico	4	4

Sistemas dinámicos	4	4
Modelos probabilísticos y análisis estadístico	4	4

Tabla 3.3 Distribución de asignaturas de la componente básica o disciplinar

- **Fundamentos matemáticos para M&S:** Al inicio de la maestría se propone, como parte de la fundamentación básica, la asignatura de fundamentos matemáticos para M&S. Ésta, tal como su nombre lo indica, ha sido concebida como un curso que brinda la oportunidad de homogeneizar los niveles de formación en matemáticas, teniendo en cuenta la diversidad de perfiles de los aspirantes. Por otra parte, ofrece la posibilidad de unificar ciertas bases conceptuales sobre las que se edificarán los contenidos programáticos de las demás asignaturas del plan de estudios. Este curso puede ser validado mediante la obtención de una calificación mínima para aprobar (3,5) en un examen que el estudiante podrá presentar durante el proceso de admisión a la Maestría. Es decir, si el estudiante considera que, por su formación profesional previa (en Matemáticas, Física, Ingeniería, por citar algunos ejemplos), no requiere cursar esta asignatura → aprueba el examen- podrá agilizar sus estudios de maestría.
- **Principios del M&S:** Este curso introduce al estudiante a la discusión conceptual, teórica y filosófica del M&S. En la dialéctica del modelado y la simulación se generan diferentes conceptos que son la base de los razonamientos utilizados en las comunicaciones científicas y técnicas. En la gran mayoría de publicaciones se expresan conceptos como modelos deterministas y estocásticos, análisis dimensional y similitud, ajuste de modelos y optimización, entre otros, los cuáles dan soporte epistemológico a conclusiones que impactan el escenario académico, científico y tecnológico. Por estas razones, en este curso se definen y problematizan los conceptos más utilizados del modelado y la simulación, su razón de ser y su importancia en el ámbito investigativo.
- **Programación y análisis numérico:** El objetivo de este curso es dotar a los estudiantes con las herramientas básicas en pensamiento algorítmico y solución algorítmica de problemas aplicando los conceptos fundamentales de Análisis Numérico. De esta manera, el estudiante conocerá las técnicas básicas de programación de métodos para el manejo algebraico de representaciones computacionales de datos numéricos para interpolación, integración numérica de ecuaciones lineales algebraicas, diferenciales ordinarias y diferenciales en derivadas parciales y la estimación de raíces polinómicas Interpretación de problemas matemáticos en términos de soluciones algorítmicas.
- **Sistemas dinámicos:** El objetivo de esta es brindar herramientas conceptuales y analíticas para el estudio de sistemas en los que los parámetros varían a través del tiempo y el reconocimiento de estados característicos de un sistema lo que le permitirá identificar sistemas según tipos, las interacciones dentro y entre ellos y, principalmente, su evolución en el tiempo.

- **Modelos probabilísticos y análisis estadístico:** El objetivo de la asignatura Modelos Probabilísticos y Análisis Estadístico será el de promover y desarrollar en los estudiantes la comprensión e implementación de conceptos y métodos estadísticos, útiles en el campo del modelado y la simulación, que permitan considerar la dimensión estocástica de fenómenos cuya variabilidad inherente se propaga a lo largo del sistema causando respuestas variables en la salida del modelo.

3.3.2.2 Componente de formación avanzada o flexible

El componente de formación avanzada tiene como fin complementar la educación del estudiante, enriqueciendo su experiencia a través de unidades de aprendizaje que contienen los fundamentos teóricos y prácticos más avanzados y específicos, en el área de profundización correspondiente.

El acceso a la formación avanzada se logra a través de la oferta de optativas que han sido diseñadas según las fortalezas del equipo interinstitucional de investigadores y sus antecedentes y experiencia en docencia e investigación. Se recomienda que las dos optativas de libre elección cursadas, pertenezcan al Campo General de Aplicación en el que el estudiante quiere profundizar o investigar, de tal forma que resulten útiles para la apropiación de conceptos y herramientas requeridos para el desarrollo del proyecto de grado o tesis de maestría. La distribución de créditos y horas a la semana se muestran en la Tabla 3.4.

Componente de formación avanzada o flexible		
Asignatura	No. de créditos	Horas/semana
Optativa I	4	4
Optativa II	4	4

Tabla 3.4. Distribución de asignaturas del componente de formación avanzada.

Es de notar que la Maestría estará en la libertad de ofrecer nuevas electivas, de acuerdo a las necesidades que se planteen desde los proyectos de profundización/investigación, la participación de profesores visitantes y la actualización de los docentes en los avances del modelado y la simulación. Sin embargo, la oferta de una nueva optativa se hace, siempre y cuando haya sido evaluada y aprobada por el Comité de Dirección del programa. En la sección 3.2.2 se encuentra una descripción detallada de las asignaturas optativas previstas para ser ofrecidas inicialmente, en relación con las líneas de investigación y el Campo General de Aplicación.

3.3.2.3 Componente de Investigación / Profundización

Este componente, subyacente en toda la maestría, forma y habilita al estudiante en la investigación o el ejercicio profesional especializado en el M&S, y se evidencia de forma permanente en todas las asignaturas, aunque se concreta en forma explícita en el plan

curricular tanto en los Seminarios, el Proyecto de Investigación y la Tesis de maestría o Trabajo de Grado.

- a) **Seminarios:** Los seminarios tienen como objetivo brindar al estudiante las herramientas metodológicas requeridas para abordar de una manera estructurada, un problema real. Por lo tanto, se aprenderá a definir necesidades y/o problemas, seleccionar la información, estructurar textos tecnológicos o científicos, acotar los problemas, etc.
- **Seminario I.** En este seminario se afianzan las herramientas generales necesarias para definir una propuesta de trabajo, en la que se especifique un problema real, conociendo el estado actual del mismo, los trabajos previos que sobre él se han realizado, las nuevas preguntas que sobre él se hacen y por último el modo de enfrentarlo a través de las herramientas obtenidas en los cursos básicos. Se trata de un seminario interdisciplinar en el que convergen diferentes intereses, según los campos de aplicación elegidos por los estudiantes, pero desde un enfoque transversal común. Este seminario es compartido por los estudiantes que han optado por cualquiera de las dos modalidades de la maestría.
 - **Seminario II.** Este seminario se orienta de acuerdo a la modalidad elegida, ya sea la maestría de investigación o la de profundización. En el primer caso, el seminario II tiene como objetivo orientar al estudiante en la metodología para escribir textos científicos, analizar resultados, discutir resultados, entre otros. En el segundo caso, este seminario tiene una orientación práctica, en la que se fortalece en el estudiante la habilidad de plantear soluciones de problemas y análisis de situaciones particulares a través de las herramientas actuales y últimos avances del M&S.
- b) **Proyecto de grado:** Este curso propicia un espacio de interacción entre el estudiante y el director de Tesis de maestría o el Trabajo de grado, donde el director enfocará el proyecto y evaluará periódicamente los adelantos del estudiante. Es pre-requisito del trabajo final de maestría.
- c) **Trabajo final de maestría:** El objetivo primordial es que el estudiante pueda aplicar las herramientas adquiridas durante la maestría. Su rigor investigativo, depende de la modalidad de maestría elegida.
- **Trabajo de grado:** En esta opción, correspondiente a la modalidad de profundización. Se debe realizar un trabajo que contribuya a la solución de un problema aplicado incorporando los elementos de investigación que para ello se requieran.
 - **Tesis de maestría:** En esta opción, propia de la modalidad de investigación, se debe elaborar un trabajo original que incorpore la resolución de una pregunta científica, académica, social o industrial aún no resuelta.

Para desarrollar tanto el trabajo de grado como la tesis de maestría se requiere que:

- El estudiante reconozca un campo de interés en el que se encuentre una pregunta específica, que pueda ser resuelta mediante el modelado y la simulación.
- El estudiante debe tener asignado un director para el desarrollo de su propuesta, que encaje en el perfil del área de interés.
- Durante el seminario I se debe preparar un anteproyecto de trabajo para su validación ante el comité académico de la maestría.
- Se deben plantear unas tutorías obligatorias por parte del director para hacer un seguimiento y acompañamiento del trabajo del estudiante.
- El trabajo final es entregado al director, quien será el encargado de dar su aprobación para la posterior asignación de jurados y defensa pública del mismo.

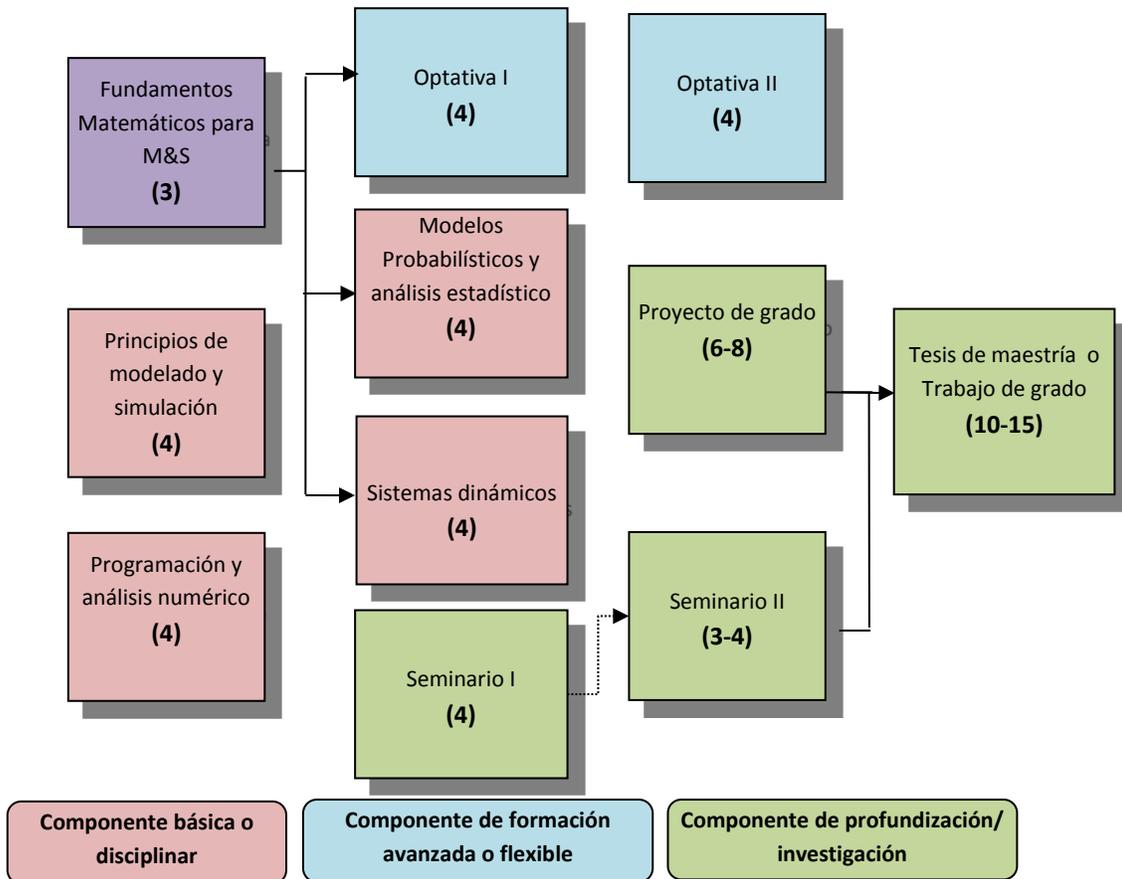


Figura 3.1 Plan curricular de la maestría de M&S. Las flechas muestran la relación de requisitos entre asignaturas.

3.3.3 Organización general de las actividades académicas

Las diez asignaturas junto al trabajo de final de maestría, se organizan por periodos, de tal forma que la maestría pueda completarse en 4 semestres. En la figura 3.1 se muestra la

malla curricular, dividida por semestre dónde se especifican las asignaturas, el número de créditos, el componente al que pertenecen y las líneas de pre-requisitos.

La organización de asignaturas se presenta de la siguiente manera⁶⁶: en el primer semestre pueden cursarse la asignatura de fundamentos matemáticos para M&S y dos asignaturas más del componente básico. El segundo semestre cuenta con cuatro asignaturas: dos del componente básico, una del componente de investigación/profundización (seminario I) y una del componente de formación avanzada (optativa I). En el tercer semestre se ofrecen, según este desarrollo del plan de estudios, tres asignaturas: la segunda optativa de la componente de formación avanzada y dos asignaturas de la componente de investigación/profundización (proyecto de grado y seminario II). El cuarto y último semestre está, de esta forma, dedicado para el trabajo de

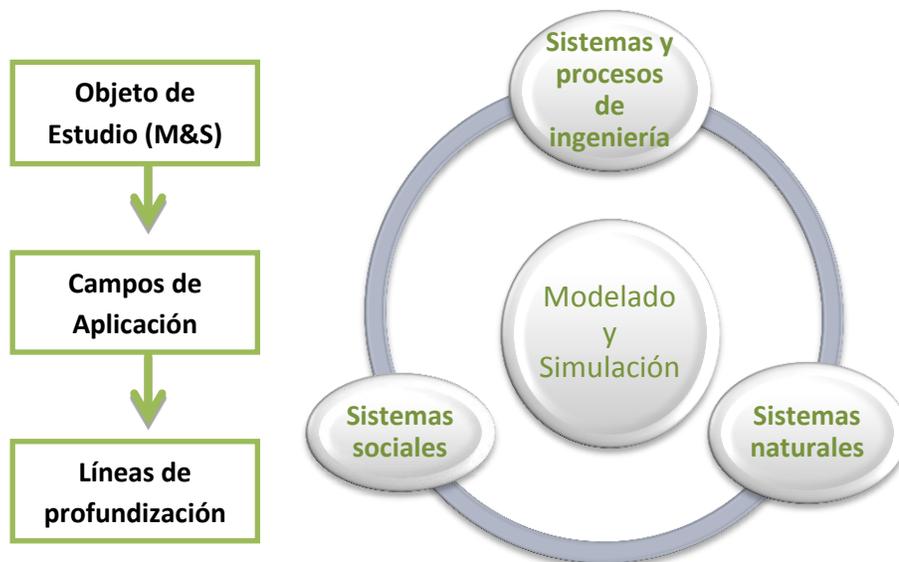


Figura 3.2. Configuración de los campos de aplicación y las líneas de profundización.

En cuanto a los pre-requisitos, la asignatura de fundamentos matemáticos para M&S es requisito de tres asignaturas: la primera optativa, sistemas dinámicos y modelos probabilísticos y análisis estadístico. Así mismo, el seminario I es prerrequisito del Seminario II y éste último del trabajo de grado o tesis de maestría. Si las optativas son de la misma línea de profundización, puede presentarse que una sea pre-requisito de la otra.

3.3.4 Campos y Líneas de profundización e investigación

Debido a que la aplicación de las herramientas del M&S es transversal a todas las ramas de las ciencias y las ingenierías, un programa de postgrado en M&S puede extender su campo de acción a una amplia gama de las ciencias fundamentales y aplicadas, y de las diferentes disciplinas en Ingeniería.

⁶⁶ Aquí se presenta una vía sugerida para el desarrollo del plan de estudios.

Por lo tanto, el objeto de estudio de la maestría puede ser aplicado en diferentes Campos Generales (Figura 3.2) que a su vez, se ramifican en líneas de profundización (Figura 3.3). Este grado de especialización demarcado en las líneas, para el caso específico de la MM&S, ha sido construido a partir de la conjunción de las fortalezas y capacidades humanas y de infraestructura de las Universidades y en función de la formación de las competencias necesarias para la solución de problemas específicos de interés básico y/o aplicado.

Por lo tanto, cada línea de profundización e investigación dará herramientas básicas en problemas diversos en el mismo Campo General. Tal es el caso de los sistemas naturales, que bien podrá tener una profundización/investigación en sistemas ambientales, biomecánicos o moleculares (Figura 3.3). Una descripción más detallada de cada Campo como es asumido en la MM&S y de las líneas de profundización/investigación se encuentra a continuación.

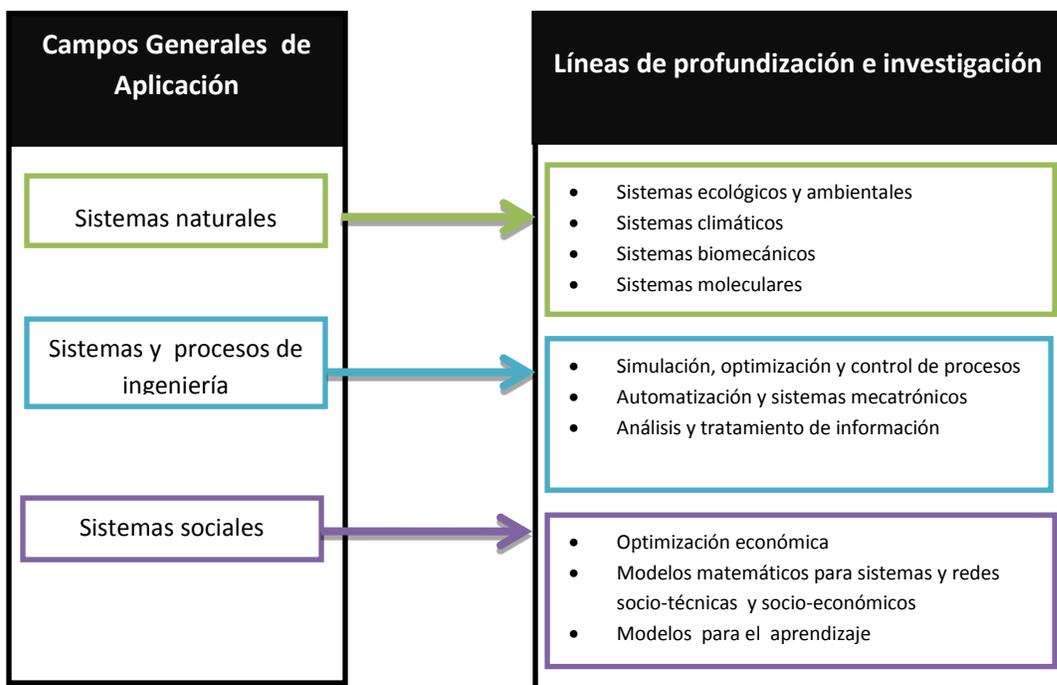


Figura 3.3. Relación de los campos generales de aplicación con las líneas de profundización

3.3.4.1 Campo de sistemas naturales

Este campo estudia, modela y simula, el comportamiento de los elementos que componen los ecosistemas, ya sea en la definición de las características intrínsecas de sus partes, su estructura y su función, o desde la perspectiva de interrelación entre ellas, considerando tanto al mundo orgánico como el inorgánico. De esta forma, se reconoce tanto a los individuos del sistema (desde moléculas hasta organismos) como a los elementos que conforman su entorno. Por lo tanto, aquí se considera el clima, la tierra o el mar, a la vez

que se estudia la dinámica de ciertos sistemas biomoleculares, cambios en plantas, cultivos, animales y el ser humano.

En éste área, se ofertan las líneas de profundización o investigación en sistemas ecológicos y ambientales, sistemas climáticos, sistemas biomecánicos y sistemas moleculares.

a) Línea en sistemas ecológicos y ambientales

Los sistemas ecológicos y ambientales consideran los individuos de las especies y el ambiente que los rodea como factores implicados en el comportamiento de un sistema, implicados en un proceso dinámico e incesante de interacción, ajuste y regulación, expresado como transformación de materia, energía o información. En la MM&S se abordan, por ejemplo, las problemáticas exhibidas por especies de plantas cultivadas. Aquí se conjugan diversos factores bióticos, físicos y químicos que interactúan entre sí con el fin de producir biomasa vegetal.

Se estudia, por ejemplo, la acumulación de biomasa en cultivos en función de las condiciones climáticas del sitio de cultivo; modelos aplicados a cultivos bajo invernadero, el efecto que variables ambientales como la temperatura y la humedad tienen sobre el desarrollo de insectos plaga. Estas metodologías han sido sometidas a procesos de simulación con el objeto de generar escenarios prospectivos que permitan establecer el impacto ambiental de los mismos como consecuencia de mejoras tecnológicas y/o cambios en las prácticas de manejo de los cultivos bajo estudio.

b) Línea en sistema climático

El sistema climático es el conjunto conformado por cinco componentes principales: la atmósfera, la hidrosfera, la criósfera, la superficie terrestre y la biósfera, los cuales interactúan entre sí a través de procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos. El sistema es influenciado además por agentes externos considerados mecanismos de forzamiento. Las relaciones existentes entre todas las partes del sistema son determinadas por los procesos de transferencia de masa, calor y momentum y todos los subsistemas posibles son abiertos e interrelacionados entre sí.

La existencia de las múltiples relaciones entre los componentes, el gran número de variables y el amplio rango de las escalas de tiempo y espacio que intervienen hicieron necesaria la creación de modelos matemáticos que facilitarían el estudio de la dinámica del sistema climático. Los primeros modelos, hoy llamados más específicamente modelos climáticos, se caracterizaron por el desarrollo de modelos independientes para cada componente. Sin embargo, con el aumento de la capacidad de cómputo fueron acoplándose para dar origen a los modelos integrales que existen en el presente y con los cuales es posible predecir las condiciones climáticas a nivel regional o global. Estos modelos permiten además hacer estimaciones cuantitativas de los valores medios mundiales de diferentes variables atmosféricas y oceánicas; además con ellos es posible modificar parámetros y factores de forzamiento para crear posibles escenarios y analizar

su impacto sobre el planeta. El reto de países como Colombia es implementar modelos que logren representar el tiempo, y clima, y generar estudios que aporten al desarrollo sostenible de la Nación.

c) Línea en sistemas biomecánicos

El propósito de esta línea de profundización de la MM&S se centra en la resolución de problemas acoplados de la biomecánica, a través del M&S, mediante la aplicación de las leyes de la mecánica a las estructuras y los órganos de los seres vivos en modelos multifactoriales implementado herramientas computacionales. Por tanto, se pueden intercambiar, mezclar y variar parámetros de las estructuras anatómicas para predecir el comportamiento de sistemas biológicos ante diferentes entornos o condiciones.

Con estas herramientas se posibilita la evaluación de dispositivos biomédicos, el análisis de movimiento, o el modelado de la biología de los órganos que componen el cuerpo humano. Para el primer caso, la simulación numérica se utiliza por ejemplo, en la evaluación y rediseño de órtesis y prótesis con el fin de predecir el desempeño del dispositivo antes de su manufactura y puesta en marcha y de esta forma se puede rediseñar y optimizar.

En el ámbito de la dinámica del cuerpo humano es común encontrar el uso de tecnologías de captura de movimiento tanto para uso por entrenadores deportivos en la definición de planes y estrategias de entrenamiento, como para un uso médico más extendido en la planeación de cirugía, en decisiones ortopédicas o en pronósticos de condiciones neurológicas. El mayor reto de estos modelos es establecer el comportamiento de los órganos corporales con el fin de predecir patologías, formular cambios en los tratamientos para las mismas o generar nuevas hipótesis de funcionamiento.

d) Línea en sistemas moleculares

La línea de sistemas moleculares se centra en el análisis de fenómenos fisicoquímicos y mecánicos, acontecidos en muchos sistemas naturales, fundamentado en las teorías que rigen el comportamiento de los átomos, las moléculas y los agregados de éstos. A escalas nanoscópicas, las teorías de la mecánica clásica y la mecánica cuántica pueden generar los modelos matemáticos que describen el interaccionar entre las diferentes partículas. Dependiendo del fenómeno a modelar, la mecánica clásica puede ser aplicada al omitir la consideración de los electrones en los sistemas y describir las moléculas como esferas rígidas unidas por resortes (enlaces). El estudio de la configuración molecular y los isómeros conformacionales puede ser efectuado basándose en la mecánica clásica. La aproximación clásica entra en desacuerdo con la aproximación cuántica cuando se trata de describir fenómenos en sistemas que dependen fundamentalmente del comportamiento de los electrones y la interacción onda-partícula. Los resultados de la aplicación de la mecánica cuántica pueden proveer información relevante en el análisis de reacciones químicas, interacciones intermoleculares, procesos de solvatación y fotocatalisis, entre otras.

A escalas microscópicas, los átomos y las moléculas pueden ser considerados en colectivos con lo cual el comportamiento de los mismos puede ser predicho por medio de las aproximaciones propias de la simulación molecular. La dinámica molecular y la simulación de Monte Carlo corresponden a los dos grandes métodos constituyentes de la simulación molecular. Los resultados de estos métodos pueden ser escalados hasta la macro escala por medio de las consideraciones propias de la termodinámica estadística. Con la simulación molecular es posible analizar fenómenos de equilibrio de fases, propiedades mecánicas, transporte de materia y distribución morfológica en materiales.

Con esta línea de profundización en sistemas moleculares la maestría en M&S busca capacitar profesionales para dar soporte a las actividades investigativas en la industria y la academia en tópicos donde el modelado, la simulación y el análisis de los fenómenos en estudio dependen de la calidad de la información a nivel molecular.

3.3.4.2 Campo de sistemas y procesos de ingeniería

El campo de “Sistemas y Procesos de Ingeniería” se centra en el análisis, mediante M&S, de los procesos industriales, los sistemas y dispositivos mecatrónicos y de cómputo, la cadena de suministros de las empresas y los datos generados de las diferentes mediciones realizadas en los anteriores ámbitos. De acuerdo a lo anterior, para esta área se definen las líneas de profundización en: simulación, optimización y control de procesos; automatización y sistemas mecatrónicos y análisis y tratamiento de información.

a) Línea en simulación, optimización y control de procesos

Esta línea de profundización define su accionar en la formulación y solución de problemas que suceden en las diferentes etapas de las industrias de transformación fisicoquímica, de procesos productivos, de servicios y procesos de cómputo. Las etapas y procesos que suceden en estas industrias pueden ser analizados a través de modelos matemáticos, los cuales están basados en ecuaciones de balance (i.e. de masa, energía y cantidad de movimiento, de bienes e insumos, económicas, etc.), estocásticas (i.e. correlaciones matemáticas que relacionan las entradas y las salidas) o en combinaciones de las anteriores.

Estos modelos son utilizados para simular y controlar el comportamiento de las etapas y procesos ante diferentes perturbaciones, exigencias del mercado y restricción de transporte y procesamiento de información y, a su vez, describen el panorama o superficie de respuesta sobre la cual es posible encontrar los puntos críticos. Con estos puntos críticos, las industrias pueden mejorar sus operaciones y procesos, planear sus actividades de compra y venta de acuerdo al rendimiento de sus equipos, planear sus protocolos de gestión y procesamiento de la información y operar en escenarios de disminución de gastos, aumento de ingresos, de menor impacto ambiental, disminución de consumo de recursos computacionales, aumento en la eficiencia en el procesamiento de información, aumento de la seguridad informática o cumplimiento de legislaciones comerciales.

b) Línea en Automatización y Sistemas Mecatrónicos

Esta línea de profundización se centra en el estudio y análisis de sistemas dinámicos físicos a partir del modelado matemático y la simulación de sus componentes. Se estudian sistemas dinámicos de diversos dominios energéticos, entre ellos: mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos y térmicos. Los modelos matemáticos desarrollados son en su mayoría determinísticos, continuos y de parámetros concentrados; se trabaja con modelos lineales y no lineales, variantes e invariantes en el tiempo.

Por su dominio energético y debido al tipo de técnicas usadas para el modelado, los sistemas a analizar se pueden clasificar en dos áreas: por una parte, los mecanismos y sistemas robóticos; por otra parte, los sistemas y dispositivos mecatrónicos. Los primeros incluyen sistemas mecánicos, en los que el objetivo es el análisis y manejo de posiciones, velocidades, aceleraciones, fuerzas y torques. En esta área se modelan sistemas como mecanismos de barras, motores de combustión interna (desde el punto de vista cinemático y cinético), robots seriales y plataformas robóticas paralelas. En el área de sistemas y dispositivos mecatrónicos se incluyen los sistemas que están formados o aquellos de interés por su comportamiento en varios dominios energéticos. Por ejemplo: motores eléctricos en los que se analiza su comportamiento eléctrico y mecánico o pistones neumáticos en los que se analiza su comportamiento neumático y mecánico.

c) Línea en análisis y tratamiento de información

Esta línea de profundización se enfoca en el desarrollo de modelos computacionales para la optimización de los procesos de almacenamiento, acceso, búsqueda, análisis y visualización de información en sistemas de cómputo. Dentro del tipo de información que es susceptible de manipulación se incluye aquella que resulta del tratamiento de datos multimodales (imágenes, señales, video, texto, posiciones de localización geográfica, etc.).

El incremento de las capacidades de procesamiento de los equipos de cómputo ha experimentado un rápido avance cuya tendencia, aun aparentemente exponencial, no compensa el incremento todavía más rápido de la información disponible y susceptible de ser procesada (información digital/digitalizada), así como de las expectativas y requerimientos de las aplicaciones de la computación a problemas de ciencias e ingeniería, especialmente aquellos ligados a casos reales provenientes del sector productivo en todos los sectores; un caso especialmente representativo es el de manejo de la información multimodal desestructurada en bases de datos de usuarios de sistemas en línea, como las redes sociales. Tal incremento en el volumen y diversidad de naturaleza de la información a procesar hace inviable cualquier aproximación exhaustiva (fuerza bruta) de navegación y búsqueda de información relevante en los repositorios de datos.

De este modo, los avances de las capacidades de procesamiento del hardware deben estar acompañados de mejoras en la eficiencia de métodos de adquisición, representación, almacenamiento y, muy especialmente, acceso a la información de interés para cada usuario o aplicación específicos, lo que ha conducido a la estructuración de nuevas áreas

de desarrollo e investigación en los frentes de Caracterización y Representación de Información, Reconocimiento de Patrones, Recuperación de Información, Aprendizaje de Máquina, Arquitectura de Sistemas, Computación en la Nube, Sistemas de Comunicación de Datos, etc. Todos estos hacen uso intensivo del modelado matemático desde las perspectivas de la Teoría de la Información, la Teoría de Señales, la Inteligencia Artificial, la Algoritmia, etc.

3.3.4.3 Campo de Sistemas sociales

Este campo de investigación se reconoce como un conjunto de conocimientos científicos y metodologías que permitan la construcción y validación de modelos matemáticos que faciliten el entendimiento de las interacciones de los diferentes agentes sociales (individuo, Estado, empresa, familia, gremios, grupos sociales).

Las líneas de profundización que la componen son: optimización económica; modelos matemáticos para sistemas y redes socio-técnicas y socio-económicos; y modelos para el aprendizaje.

a) Línea en optimización económica

En esta línea se pretende caracterizar y cuantificar los sistemas económicos con el fin de valorar el efecto causado por el cambio de las variables econométricas. De esta manera, se plantean modelos que predicen, por ejemplo, el comportamiento del mercado, de los precios y de las políticas económicas de los países.

De acuerdo a la experiencia previa, esta línea busca estudiar el efecto de las variables económicas relacionadas con factores ambientales o industriales, para optimizar los procesos que se desarrollan. Un ejemplo de esto es el estudio de efecto de la segregación en el precio del suelo: un modelo de localización en Bogotá en el que, a través de un modelo de precios hedónicos y con información de los predios residenciales, se incorporaron las preferencias por segregación usando como variable proxy las distancias de un predio a otros de estratos diferentes para estimar el impacto de esta medida de segregación sobre el valor del predio. Otro ejemplo es el modelado económico de la actividad acuícola, relacionado con la capacidad de carga en un embalse tropical. El objetivo es introducir el modelado de funciones de costos y funciones de producción al simulador de capacidad de carga para embalses tropicales, con el fin de conocer los impactos económicos de las externalidades ambientales en este caso.

b) Línea en modelos matemáticos para sistemas y redes socio-técnicas y socio-económicos

Se busca formalizar, a través de modelos matemáticos, algunos comportamientos e interrelaciones humanas. Para ello se abstraen los sistemas sociales y se tratan como sistemas físicos, por ejemplo, de tal suerte que puedan aplicarse algunos métodos y herramientas científicas usados por esta u otra disciplina.

De esta manera, los conocimientos cualitativos recabados por disciplinas como la Sociología y la Antropología y la Psicología Social, incorporan métodos provenientes del modelado matemático para su aplicación en estudios multivariados del comportamiento de grupos humanos. Sobre esta base, en la MM&S, se trabaja con modelos matemáticos de múltiples variables, que representan, por ejemplo, la naturaleza dinámica del conflicto colombiano, teniendo en cuenta variables tan complejas como los condicionantes económicos, la dinámica interna nacional, los factores militares, variables socio-económicas y la dinámica interna de los actores. Con ello se busca describir el sistema actual, mediante la estimación de los parámetros que mejor se ajustan a los modelos teóricos propuestos y plantear posibles escenarios futuros.

En lo que respecta a las redes socio-técnicas y socioeconómicas, se estudian los hechos como una relación entre nodos y agentes por medio de líneas que los configuran como redes. Haciendo uso de herramientas matemáticas como las provenientes de la Teoría de Grafos, las Redes -particularmente el campo de las Redes Sociales, de reciente desarrollo- y de la Inteligencia Computacional -Autómatas Celulares, Modelado Basado en Agentes, Agentes Inteligentes, etc.- ha sido posible representar fenómenos colectivos en sistemas humanos a gran escala. Tal es el caso de las Sociedades Artificiales que persiguen un replanteamiento profundo de la aplicación de las Ciencias Sociales en ciertos casos de estudio mediante la caracterización de intrincados comportamientos colectivos a partir de la puesta en marcha de reglas simples de comportamiento individual⁶⁷.

c) Línea de profundización de modelos para el aprendizaje

Esta línea tiene como fin desarrollar y aplicar tanto modelos como simulaciones del comportamiento de los agentes en un entorno de aprendizaje y también de los objetos estudiados en ciertas disciplinas. Este entorno ha de variar a través del tiempo según la dinámica del mundo contemporáneo.

En este sentido, el aprendizaje superior debe asegurar un aprendizaje perpetuo, integrado y basado en las necesidades del aprendiz, apoyado especialmente en las tecnologías de la información. Por lo tanto, se plantean modelos y metodologías que aseguren un mejor aprendizaje para los ambientes actuales. Las simulaciones de fenómenos naturales y procesos de ingeniería son especialmente relevantes para el aprendizaje relacionado con estas disciplinas.

Para evaluar las estrategias implementadas para el aprendizaje, se usa la evaluación educativa y su interacción con el contexto educativo. Allí se involucran los conceptos de competencias y evaluación cualitativa, a los que se vinculan elementos cognitivos como la resolución de problemas, la creatividad, el pensamiento crítico, el análisis textual y otros.

⁶⁷ Epstein J. M. & R. Axtell. 1996. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. The Brookings Institution, Washington, DC, USA.

La medición de los atributos del ser humano en relación con los desarrollos técnicos y teóricos se hace a través de la psicometría. Para este efecto, la MM&S acoge la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) como la perspectiva de medición, ya que ésta permite procesar los datos obtenidos en una prueba, mide una serie de parámetros como la confiabilidad, la consistencia interna y la unidimensionalidad -que dan validez estadística al instrumento de evaluación-, determina la habilidad de los estudiantes y señala los ítems que pueden actuar como anclaje para tener un instrumento validado y calibrado. De esta manera se asegura una evaluación objetiva en la que la estimación del grado de habilidad de un individuo y de la dificultad de un ítem no depende del instrumento de prueba.

Las asignaturas optativas ofrecidas en el programa, que se consignan en la tabla 3.5, se proponen acorde a las líneas de profundización/investigación que rigen la maestría y dan cuenta de la experiencia previa de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y la Universidad Central.

Campo General de Aplicación	Línea de profundización/ investigación	Asignatura
Sistemas naturales	Sistemas biomecánicos	Mecánica del medio continuo
		Biomecánica computacional
	Sistemas ecológicos y ambientales	Modelado de ecosistemas
		Modelos espaciales estocásticos
	Sistemas climáticos	Modelado y simulación del sistema climático
	Sistemas moleculares	Computación molecular
Termodinámica estadística		
Sistemas sociales	Optimización económica	Econometría avanzada
		Introducción a modelos estocásticos
	Modelos matemáticos para sistemas y redes socio-técnicas y socio-económicas	Introducción a la complejidad
		Redes Sociales y Sociotécnicas
	Modelos de aprendizaje	Modelos para el análisis de instrumentos de evaluación
		Modelado de procesos para la enseñanza/aprendizaje
Sistemas y procesos de ingeniería	Análisis y tratamiento de la información	Minería de datos
		Visión por computador

	Automatización y sistemas mecatrónicos	Mecánica de Manipuladores Robóticos (o de Robots Industriales)
	Simulación, optimización y control de procesos	Diseño óptimo de procesos industriales
		Dinámica de fluidos computacional

Tabla 3.5. Ejemplo de posibles asignaturas ofrecidas por líneas de profundización/investigación

3.4 Componente de interdisciplinariedad del Programa

Como se ha mencionado, el M&S es una nueva rama de la ciencia que permite, no solo predecir el comportamiento durante el desempeño de un sistema, sino plantear nuevas hipótesis que den cuenta de las causas desconocidas que producen un hecho conocido.

Este abordaje de los problemas es usado en cualquier tipo de sistemas, desde los de ingeniería, pasando por los sistemas biológicos, geográficos, climático, humanos hasta los sistemas de pensamiento y organización de sociedades. El hecho de que la simulación contenga distintos campos y objetos de estudio, asegura que cualquiera de las herramientas aprendidas pueda ser usada por diferentes disciplinas.

La maestría de M&S entiende la interdisciplinariedad como una característica inherente, dado que se presenta de forma natural en los problemas que en ella se resuelven como una interacción de saberes. Por lo tanto, la maestría garantiza la relación entre las distintas ramas del conocimiento con la propuesta de objetos de estudio distintos, con la participación de docentes de disciplinas como la ingeniería, ciencias básicas y ciencias sociales y con la vinculación de profesionales diversos como estudiantes.

Así mismo, tanto la Universidad Jorge Tadeo Lozano como la Universidad Central a través de sus grupos de investigación, ponen a disposición los convenios con las diferentes entidades que soportan la elaboración de proyectos provenientes de necesidades reales y que complementan la experticia con la que se cuenta.

3.4.1 Estrategias de flexibilización para el desarrollo del programa

El programa de maestría en Modelado y Simulación implementa diferentes estrategias de flexibilización que se definen en cuatro ejes principales: modalidad, estructura curricular, reconocimiento de saberes y uso de TIC. En el eje de la modalidad, como ya se ha mencionado, la Maestría ofrece dos modalidades de formación: profundización e investigación. Esto se traduce en diferente número de créditos exigido para cada una. La modalidad deberá ser elegida por el estudiante cuando realiza el proceso de inscripción;

sin embargo, podrá solicitar un cambio de modalidad de acuerdo con la reglamentación específica para el programa.

Respecto a la estructura curricular, ésta cuenta con diferentes estrategias de flexibilización. En primer lugar, contempla un número mínimo de pre-requisitos y co-requisitos, que permiten que un estudiante tome las asignaturas de acuerdo con sus necesidades de formación y disposición de tiempo. Como se observa en la sección 3.3 la maestría contempla dos rutas curriculares, una de ellas obliga a tomar una asignatura de nivelación en fundamentos matemáticos para M&S, a aquellos estudiantes que no aprueben un examen de suficiencia que será presentado en el proceso de admisión a la maestría. Por otro lado, se oferta un conjunto suficiente de asignaturas optativas en cada una de las líneas de formación. Aunque la maestría exige como requisito el haber cursado dos asignaturas optativas, el estudiante podrá tomar un número mayor de acuerdo con sus intereses particulares.

Por otro lado, los dos seminarios del componente de investigación están dirigidos a desarrollar habilidades y competencias específicas que permiten llevar a cabo el desarrollo de la tesis de maestría, lo que constituye otra estrategia de flexibilización. Finalmente la asignatura trabajo de grado / tesis de maestría, que se impartirá en modalidad de curso dirigido, permitirá al estudiante profundizar en los conocimientos específicos para el desarrollo de su tesis, contando con la asesoría continua de su director.

El siguiente eje, permite la homologación y validación de asignaturas optativas cursadas tanto en la Universidad Jorge Tadeo Lozano o en la Universidad Central en programas de postgrado afines. Una lista de posibles optativas que pueden tomarse se encuentran en la Tabla 3.6.

Universidad	Marco	Optativa
Universidad Central	Maestría en gestión de organizaciones	Modelos de gestión
		Sistemas de información para la gestión
Universidad Jorge Tadeo Lozano	Maestría en ciencias del mar	Bioinformática
		Bioestadística avanzada
		Modelado y SIG

Tabla 3.6 Ejemplo de optativas ofertadas por otras maestrías de las universidades Central y Jorge Tadeo Lozano

Adicionalmente, de acuerdo al reglamento estudiantil de las Universidades, la Maestría en M&S permitirá la vinculación de estudiantes de pregrado, quienes podrán adelantar

asignaturas de la Maestría como requisito de grado o como enlace para realizar después su estudio formal de postgrado.

Adicionalmente, el desarrollo de las actividades docentes estará apoyado por los ambientes virtuales de aprendizaje de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (AVATA) y la Universidad Central, con lo cual se permitirá el dialogo continuado, formativo y constructivo de los profesionales en sus horas de trabajo extra clase. Así mismo, esta herramienta es fundamental para profesionales cuyas actividades laborales se encuentren en ciudades diferentes de donde se imparte la maestría.

Finalmente, el número de créditos de cada asignatura y los totales que se cursan en el programa, se definen con la premisa de movilidad y el reconocimiento académico. De modo tal que cualquier egresado de la maestría tenga los créditos suficientes para ser validados en cualquier universidad del exterior en el caso de aspirar a otros estudios de posgrado.

Tomando como referencia los ECTS (Sistema europeo de transferencia de créditos), un programa de máster oficial debe ofertar aproximadamente 1500 horas. Por lo tanto, con la definición del Real Decreto de un (1) crédito como 25 – 30 horas a la semana de trabajo académico⁶⁸, se calcula que al programa le corresponde al menos 60 créditos.

Con esta misma ecuación y de acuerdo a la definición de créditos colombianos, las 1500 horas que corresponden a un máster oficial, llevarían a que la maestría ofrezca al menos 32 créditos. Por lo tanto, cualquiera de las modalidades elegidas, podrían optar a una homologación para posteriores estudios en Europa.

3.4.2 Lineamientos pedagógicos y didácticos adoptados en las instituciones según la metodología y modalidad del programa.

La Universidad Jorge Tadeo Lozano se concibe como una universidad formativa con responsabilidad sobre la generación de conocimiento pertinente y hacia la solución de los problemas del entorno¹⁸. La Universidad comparte esta aproximación al ejercicio de su actividad académica desde lo formativo. Es por esto que las dos instituciones -que se identifican desde su proyecto educativo con estos valores- deciden comprometerse con la concepción, apertura y sostenimiento de programas de maestría orientados hacia la solución de problemas de la sociedad.

El modelo pedagógico de la universidad formativa envuelve la coexistencia y la combinación de distintas estrategias de enseñanza y aprendizaje fortalecidas con conferencias dirigidas a la comprensión y a incentivar la creatividad y dedicación de los estudiantes profesionales. Asimismo, la universidad formativa reflexiona sistemáticamente sobre la enseñanza y el trabajo docente para aplicar modelos

⁶⁸ R.D. 56/2005 de 21 de enero

pedagógicos como el constructivista con el fin de organizar el aprendizaje de un modo similar a un trabajo de investigación.

En el modelo constructivista, el maestro puede iniciar de forma cualitativa por un problema de la vida cotidiana que tenga sentido para los estudiantes. De esta forma, se abre un espacio de discusión de un fenómeno comprensible con interrogantes significativos que conllevarán a la formulación de relaciones entre los elementos, las variables y los aspectos propios del contexto de la asignatura.

El intercambio de ideas entre los estudiantes y el profesor y la formulación o el rechazo de hipótesis que expliquen la situación en escena simulan las actividades propias de los grupos de investigación en la solución de los problemas de forma analítica y cualitativa. Las argumentaciones en esta etapa deben ser guiadas por el maestro para concentrar esfuerzos en caminos y procedimientos válidos para la solución del fenómeno en estudio. Así mismo, el profesor refuerza las conclusiones y el aprendizaje significativo al discutir y rediscutir los procedimientos de solución seguidos. El ejercicio se extiende hasta la reflexión colectiva de los resultados obtenidos con el fin último de determinar su rango de validez; esto también implica la discusión activa sobre lo que se ha aprendido y sobre cómo se ha aprendido (meta-conocimiento y meta-aprendizaje).

Para cursos numerosos, especialmente, la cátedra magistral y las conferencias constituyen una estrategia propia para cubrir los diferentes temas de las asignaturas y promover el trabajo grupal e individual y la autonomía. También, el maestro puede combinar diferentes clases de modelos pedagógicos, que incluyen pedagogías no-estándar, y aplicar su experiencia para lograr la formación de los aprendices⁶⁹.

La aplicación práctica del modelo pedagógico de la universidad formativa, adoptado para el desarrollo del programa de Maestría en Modelado y Simulación, se verá reflejada en las siguientes estrategias pedagógicas que cada profesor implementará según los requerimientos y las necesidades propias de cada asignatura:

- Cátedra magistral: aunque la vigencia y validez de la cátedra magistral están bajo discusión en la actualidad, se considera importante incluir esta estrategia pedagógica dentro del desarrollo del presente programa de maestría. La exposición introductoria de conceptos, temas o descripciones de técnicas por parte del profesor mediante cátedras magistrales, será el punto de partida desde el cual se iniciarán procesos interactivos de aprendizaje donde el estudiante tome parte activa a través de la aplicación de las demás estrategias de aprendizaje listadas en el presente apartado.
- Aprendizaje basado en problemas: esta estrategia de aprendizaje donde los estudiantes son enfrentados a la resolución de un problema específico, promueve el desarrollo de habilidades adicionales en procesos de investigación. De acuerdo con el modelo pedagógico de las dos universidades se comprende mejor si se parte

⁶⁹Véase el Modelo pedagógico de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Pág 121.

de un problema y se siguen en el aprendizaje los pasos propios de un trabajo de investigación. La elaboración de la(s) posible(s) solución(es) al problema exige por parte de los estudiantes una comprensión integral del problema a partir de los antecedentes, el contexto, los métodos de análisis y la formulación y prueba de la(s) hipótesis. Esta estrategia de aprendizaje podrá ser aplicada por los profesores a diferentes niveles de complejidad incluyendo temas como por ejemplo la formulación, calibración, validación, sensibilidad, incertidumbre y posterior utilización del modelo para la generación de escenarios que den respuesta al problema inicialmente planteado.

- **Análisis de casos:** es uno de los métodos más comúnmente aplicados para desarrollar el pensamiento analítico. Bajo esta premisa los estudiantes son enfrentados a una situación particular para la cual deben encontrar respuestas que conduzcan a la toma de decisiones o generación de recomendaciones. Esta estrategia pedagógica promueve en el estudiante la capacidad de análisis y formación de criterio bajo la guía del profesor, quien se convierte en un moderador del proceso que desarrollan los estudiantes ya sea de manera individual o grupal. En el contexto del modelado y la simulación esta estrategia pedagógica adquiere especial relevancia dado que la representación simplificada de una situación del mundo real mediante un modelo matemático requiere que el estudiante posea excelentes capacidades analíticas y de síntesis. La utilización de esta metodología en las diferentes asignaturas del programa permitirá que el estudiante tenga un entrenamiento permanente en el desarrollo de esas habilidades analíticas indispensables para la construcción de un modelo matemático y su posterior utilización.
- **Aprendizaje por proyectos:** la propuesta y ejecución de proyectos en donde el estudiante planea y ejecuta una serie de actividades interrelacionadas y coherentes para obtener un producto final es una estrategia pedagógica que permitirá al estudiante adquirir competencias accesorias tales como planificación, organización y trabajo en equipo. Esta estrategia privilegia la participación del estudiante quien en últimas es el director y ejecutor de todo el proceso mientras que el profesor es el tutor que guía, quien responde inquietudes puntuales, o colabora en la consecución de fuentes de información. Con base en los objetos de estudio del presente programa de maestría, la línea de profundización o investigación de los estudiantes y sus propios intereses, el profesor promoverá que sean los estudiantes quienes definan, en lo posible, los temas de los proyectos.
- **Discusión o debate:** la retroalimentación y el intercambio de ideas no sólo entre estudiante y profesor sino entre los mismos estudiantes alrededor de una temática definida contribuye a la construcción colectiva de saberes que permitirá afianzar conceptos, clarificar ideas y/o generar nuevas inquietudes tanto en el campo académico como en el científico. Dentro de las asignaturas del programa de maestría el profesor hará uso de esta estrategia de aprendizaje con el fin de promover espacios de argumentación coherentes que permitan complementar y

enriquecer los productos obtenidos mediante las demás metodologías empleadas en clase.

Las anteriores estrategias pedagógicas coinciden con las propuestas generales de los modelos pedagógicos de las universidades Central y Jorge Tadeo Lozano a pesar de las especificidades que cada una de ellas posee. Todas ellas enfatizan el aprendizaje activo, el cual prepara al estudiante para el aprendizaje permanente. La combinación conveniente de las diferentes metodologías de enseñanza-aprendizaje responderá a los conceptos presentados en el modelo pedagógico de la Universidad Jorge Tadeo Lozano según el cual sólo se aprende lo que tiene sentido para el aprendiz ya que el acto pedagógico es un acto de comunicación⁷⁰.

La Universidad Jorge Tadeo Lozano ha planteado el fomento al debate pedagógico en todas las áreas con el fin de generar un programa de reflexión colectiva sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje que incluya a todos los profesores de la institución. Esta iniciativa propone un espacio permanente de evaluación que contribuirá a mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Procesos que deben propender por la formación para la investigación en el aula lo cual en algunos casos implica el cambio de actitud en relación con la enseñanza tradicional. Uno de los principios orientadores del modelo pedagógico de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, compartido por la Universidad Central, es que el profesor trabaja sobre el trabajo del estudiante. En este sentido el profesor es un orientador y coordinador del trabajo de los estudiantes más que un impartidor de conocimientos.

Este modelo, de manera general, señala como aspectos deseables del buen profesor: el excelente conocimiento del campo del saber pertinente, la permanente inquietud por los temas pedagógicos y didácticos, el trabajo centrado en el aprendizaje del estudiante, la constante estimulación del estudiante para interesarlo en los temas de estudio, la justa evaluación del desempeño del estudiante, la capacidad para la selección de temas de estudio, la claridad en la transmisión y/o generación del conocimiento y el compromiso con su tarea de docencia.

Los anteriores principios rectores de las actividades del profesor y su promoción al interior de las dos instituciones, y en particular para el presente programa de Maestría, contribuyen a garantizar que los procesos de enseñanza-aprendizaje estarán en función del estudiante y sus necesidades de formación. La transversalidad del modelado y la simulación a diferentes áreas del conocimiento exige que la planta profesoral asociada al programa tenga la suficiente flexibilidad y los conocimientos necesarios para orientar el proceso formativo de cada estudiante teniendo en cuenta sus expectativas y su campo de trabajo o investigación particular.

⁷⁰ Modelo Pedagógico Universidad Jorge Tadeo Lozano. Vicerrectoría Académica. 2011.

4. ORGANIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ACADÉMICAS

La organización curricular del programa, según lo acordado por la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y la Universidad Central, debe involucrar tanto el tiempo de trabajo que el estudiante dedica para asistir a los cursos, como el tiempo que debe emplear para preparar las actividades académicas y las evaluaciones que demanda el curso en cuestión⁷¹. Bajo esta consideración serán orientadas las actividades académicas y la evaluación de ellas.

Las actividades académicas de los estudiantes durante el período académico se consideran en cuatro frentes: Trabajo presencial, trabajo independiente (lecturas, tutoriales y talleres), procesos de evaluación y trabajo final de grado (tesis de maestría o trabajo de grado):

4.1. El trabajo presencial

Supone la asistencia personal del estudiante a las clases de las asignaturas básicas y optativas como aspecto fundamental de su formación. Se requiere el compromiso de los estudiantes en la preparación, mediante lecturas previas de cada módulo y el seguimiento continuo de las lecturas correspondientes a las referencias establecidas en los sílabos de las asignaturas y otras que surjan, de ser el caso, durante el desarrollo de las clases.

La interacción personal del estudiante con sus pares y con el profesor responsable de cada módulo es indispensable para garantizar su participación activa durante su propio proceso de aprendizaje. Esto favorece la adquisición de conocimientos, de habilidades en la resolución de problemas y, además, propicia el desarrollo personal del pensamiento científico en el estudiante mediante la interacción con el profesor y sus compañeros, mediante los procesos de crítica, reflexión y síntesis; además propicia el trabajo en equipo mediante el uso de metodologías colaborativas y de interacción en grupo enfocadas al debate y la proposición conjunta de soluciones e iniciativas.

4.2. El trabajo independiente

El desarrollo de habilidades de investigación, aplicación e intervención en la solución de problemas exige la capacidad del estudiante de afrontar de manera autónoma la lectura, interpretación y adquisición de nuevos conocimientos y la aplicación de los mismos a la resolución de problemas prácticos en el contexto de cada asignatura, en los casos en los que esto sea viable y deseable desde el punto de vista pedagógico. Esta consideración se hace tomando como punto de partida la descripción del seminario alemán como “estrategia importante para promover el diálogo y la reflexión, para conocer ideas, las herramientas conceptuales y las inquietudes académicas de los estudiantes y educar en la autonomía”⁷².

⁷¹ PEI. Aspectos Académicos. Página 109.

⁷² Modelo Pedagógico. Universidad Jorge Tadeo Lozano, pág. 130.

El seguimiento de los textos guía y las lecturas recomendadas, además de complementar la información presentada en clase, permiten al estudiante enfrentarse con labores propias del ámbito académico como la búsqueda de referencias, el análisis e interpretación conceptual de textos, la lectura crítica de propuestas metodológicas y la valoración de resultados de trabajos de investigación correspondientes al estado del arte. De este modo, se buscará que la contextualización adquirida mediante la lectura autónoma de textos y artículos, fortalezca las habilidades necesarias para la formulación de aproximaciones metodológicas propias y la validación, presentación y defensa de resultados.

Los tutoriales, adoptados formalmente como parte del material de soporte al trabajo autónomo, ofrecen, además, la posibilidad de entrenarse en habilidades técnicas, uso de herramientas de software o metodológicas y procedimientos establecidos de manera autónoma, ya sea individual o grupal.

4.3. El Curso Dirigido

El Curso Dirigido se presenta como un espacio académico indispensable en programas en los que la amplitud del espectro de temáticas de profundización y líneas investigación que están a disposición de los estudiantes exige una utilización óptima del tiempo destinado a la docencia y, paralelamente, un mayor grado de detalle y seguimiento al avance del estudiante a través de las unidades temáticas que configuran la asignatura correspondiente.

Tal requerimiento, estrechamente relacionado con la flexibilidad del programa, implica una metodología apropiada para garantizar la participación continua y activa del estudiante en el desarrollo del curso y la posibilidad de que el docente pueda asistir de forma efectiva al estudiante y evaluar su desempeño con objetividad. Esto se consigue mediante la articulación de las lecturas (artículos, capítulos de libro, ponencias) propuestas por el profesor al estudiante como material de estudio, la formulación de cuestiones, problemas o proyectos derivados de dicho material en el contexto del curso dirigido y la presentación de estados del arte, resúmenes y reportes de la solución de los problemas y del desarrollo de los proyectos formulados. Así pues, el curso dirigido adoptará una figura formal en la Maestría en Modelado y Simulación, cuya normativa será reglamentada por el Comité de dirección de la Maestría.

4.4. El trabajo de Grado

En la Universidad Central, los trabajos de grado en el nivel de posgrado se centran en la evolución académica y profesional del estudiante, buscando “[...] *fortalecer su conocimiento y competencias y a evidenciar que el dominio logrado en su campo de*

*estudio le hace merecedor de la titulación correspondiente*⁷³. Sobre la tipología del trabajo de grado, en la U. Central se establece la siguiente descripción:

*“[...] el desarrollo documentado de una solución, la sistematización de una intervención, el estudio de caso, el análisis de un problema conceptual de orden disciplinar, interdisciplinar o profesional o la creación o interpretación documentada de una obra artística.”*⁷⁴

En la Universidad Jorge Tadeo Lozano, el trabajo de grado en el posgrado se concibe como el conjunto de actividades académicas debidamente planeadas, que tiene como propósito que el estudiante en la parte final de sus estudios, consolide su formación en la disciplina o profesión⁷⁵.

Atendiendo a las consideraciones expuestas por los reglamentos de ambas universidades, en la Maestría en Modelado y Simulación será requisito de grado la elaboración de un trabajo final,⁷⁶ cuyo número de créditos será de 15 en la modalidad de Investigación (Tesis de Maestría) y de 10 en la modalidad de Profundización (Trabajo de Grado). Todo trabajo final deberá presentar de manera formal las etapas de ejecución de un proyecto:

- Concepción de la problemática
- Propuesta metodológica
- Presentación y validación de resultados
- Discusión final y conclusiones

Las especificidades de cada modalidad se presentan a continuación.

4.4.1. Trabajo de grado en la modalidad de investigación: Tesis de Maestría

En el contexto de la Maestría en Modelado y Simulación, La Tesis de Maestría es el documento que recoge las aportaciones originales del estudiante tras su participación en actividades de investigación (orientadas por el Director de Tesis) que generen nuevo conocimiento en lo relativo a las metodologías y herramientas del modelado matemático y la experimentación numérica.

La Tesis está destinada a fortalecer las habilidades y competencias del estudiante como futuro investigador en el área del Modelado y la Simulación en diferentes campos del conocimiento, acercándolo al ejercicio responsable y consistente del Método Científico y el uso práctico de las herramientas conceptuales de M&S aplicadas a problemas de interés en investigación fundamental y aplicada. Para la aprobación de la Tesis de Maestría en esta modalidad, el estudiante debe aportar la documentación relacionada en la que se

⁷³ Resolución rectoral N° 6 de la Universidad Central de 2010, pág. 7

⁷⁴ Idem., pág. 8

⁷⁵ Artículo 28. Capítulo XII. Reglamento estudiantil.

⁷⁶ Ver sección 3, “Contenidos Curriculares”

evidencia que al menos un artículo de investigación, en el que figura como primer autor, se ha sometido a evaluación en una revista indexada, con la anuencia del director de la tesis.

4.4.2. Trabajo de grado en la modalidad de profundización: Trabajo de grado

El Trabajo de Grado de la Maestría en Modelado y Simulación corresponde al documento resultante de la implementación de una solución tecnológica, la sistematización de una intervención en una organización externa o el uso de las técnicas y herramientas del M&S para el desarrollo de una aplicación innovadora.

El trabajo de grado provee el espacio académico favorable para la articulación entre la teoría y la práctica, dotando a los estudiantes de la modalidad de profundización de las habilidades y competencias necesarias para el uso de las metodologías, técnicas y herramientas propias del M&S en la solución de problemas reales en organizaciones del sector público, del sector productivo o la sociedad civil. El documento correspondiente al desarrollo del trabajo de grado puede contener los resultados de:

- a) Estudio de caso: análisis, diseño e implementación de una solución de base tecnológica relacionada con los contenidos del programa en un entorno organizacional, bien sea éste del sector público, de la empresa o de la sociedad civil a través de organizaciones sociales reconocidas.
- b) Trabajo de desarrollo tecnológico e innovación: documentación completa y prueba de funcionalidad de la aplicación de los conceptos del M&S en la generación de un producto original de innovación tecnológica.
- c) Artículo de investigación aplicada: Versión extendida y detallada de un artículo correspondiente a una propuesta de desarrollo tecnológica, aceptado en una publicación indexada por Colciencias evaluada por pares en la que el estudiante figure como primer autor.

Para la aprobación del trabajo de grado, en ambas modalidades, el estudiante debe presentar un documento que sintetice los aspectos relevantes desarrollados en su tesis o proyecto final, así como una sustentación pública.

Los cursos de la maestría en Modelado y Simulación estarán organizados por unidades temáticas, en las cuales se enmarca el desarrollo de la formación en cada una de las asignaturas del programa de acuerdo con las competencias relacionadas con cada unidad y especificadas en el sílabo de la asignatura, los cuales contemplan las siguientes estrategias pedagógicas: seminario, laboratorio y estudio de caso.

4.5. El seminario

El seminario se configura a partir de un conjunto de conceptos, problemas y debates que se establecen como sustanciales para la formación de los estudiantes en un campo determinado. Al definirlos, simultáneamente se debe establecer cuál es el ámbito

específico de la materia y cuáles son los textos a considerar, todo lo cual constituye el cuerpo discursivo sobre el que se desarrollará la discusión crítica por parte de los participantes.

El seminario enfrenta al estudiante a la formalización de los problemas, conceptos, teorías y a las aproximaciones metodológicas, así como al planteamiento de cuestiones sobre el área y a la búsqueda de las respuestas correspondientes y de las herramientas que le permitan encontrar soluciones. En el programa, por su naturaleza transversal e interdisciplinaria, se enfatizarán las metodologías inspiradas en el modelo de seminario alemán⁷⁷. Por ello, la MM&S desarrollará sus seminarios bajo las siguientes premisas:

- El profesor debe entregar un programa de trabajo en el cual se determina el objeto de cada una de las sesiones. Este cauce previsto puede variar dependiendo del movimiento del seminario; esto significa que, en un momento dado, las sesiones pueden organizarse en torno a asuntos y discusiones que adquieren especial interés o relevancia. Al respecto, la regla será que, cuando esto ocurra, el profesor precisará el objeto y modos de proceder en las sesiones siguientes, incluyendo la especificación de las responsabilidades de los estudiantes respecto de ellas.
- Los estudiantes deben leer y trabajar con anterioridad a cada sesión, los materiales seleccionados para ella.
- Todos los estudiantes deben preparar con anterioridad a cada sesión, un escrito cuya naturaleza varía de acuerdo con la dinámica del tratamiento del problema: en algunos momentos, el escrito realiza un examen de un concepto (sus distintas formulaciones, sus distintos usos, sus posibles vínculos con el problema, sus posibilidades y alcance, etc.); en otros momentos, el escrito puede estar destinado a crear o sostener una polémica en torno a la manera de formular o considerar un problema (a través de otros conceptos, a la luz de otros acontecimientos, en el marco de otras teorías o paradigmas, etc.); en otros momentos, el escrito puede presentar un caso relacionado con el problema o con el uso de los conceptos.
- La puesta en práctica de una sesión de seminario supone la existencia de tres papeles bien diferenciados: el del estudiante expositor —quien propone en sus palabras el tema de estudio y discusión—, el de los interlocutores (estudiantes y profesor) y el del moderador, encargado de recoger los elementos fundamentales de la discusión que se realiza durante la sesión y de presentarla en un escrito de síntesis, organización, delimitación y planteamiento de discusiones derivadas, asegurando de tal manera que se mantenga la unidad y consistencia del ejercicio del trabajo conjunto. Dicha consistencia del ejercicio y ajuste de los resultados del mismo a la planeación general del curso es un requisito esencial para garantizar el éxito de la actividad, consiguiéndose mediante el registro minucioso de los temas y problemas discutidos, según un orden lógico, un hilo conductor en la redacción de la memoria y la anotación de las preguntas formuladas pero no resueltas. El

⁷⁷ Modelo pedagógico. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Página 130.

protocolo debe estar encabezado por el nombre del seminario, el nombre del director del seminario, la fecha de la sesión a la que hace referencia y un título en relación con el tema a tratar.

- Los escritos que los estudiantes aportan en cada sesión de seminario son el soporte de la exposición, resultando conveniente que el expositor se defina al inicio mismo de la sesión, a fin de asegurar que cada estudiante prepare el tema rigurosamente ante la posibilidad real de ser elegido como expositor; sin embargo, dado que sólo uno de ellos será el encargado efectivo de la exposición, los escritos de todos los estudiantes han de ser leídos, comentados y entregados a sus autores por parte del profesor.
- El trabajo final del seminario será un ensayo, producto de la elaboración de convergencia de los escritos preparados para las sesiones, los protocolos y las observaciones del profesor.

4.6. El Estudio de Caso

El 'caso' es una instancia particular de un escenario general en el contexto de la actividad profesional o campo de investigación cuya forma de presentación y abordaje metodológico lo determina como tal. La selección de un caso de interés desde una perspectiva fundamental o aplicada depende de un marco de referencia que convierte una situación particular en un objeto. La posibilidad de que un problema o situación específica se convierta en un caso de estudio proviene de la problemática (bien delimitada, definida y sistematizada) que un conjunto de hechos y situaciones ofrece en un campo de conocimiento determinado.

Se entiende por *descripción de caso* a la descripción en lenguaje natural de aquellos hechos que de acuerdo con las intuiciones de quien realiza el estudio, podrían constituirse en una singularidad. Se entenderá, igualmente, *formulación del caso* como un cuerpo constituido por relatos, informaciones, categorías de análisis, conceptos y preguntas referidas a acciones (posibles, probables o realizadas).

El trabajo implícito en un estudio de caso consiste, fundamentalmente, en establecer su particularidad: aquello que hace singular la situación presentada en un contexto dado. Para ello, se lleva a cabo un recorrido intensivo de su desarrollo temporal y de su localización espacial, sirviéndose de conceptos cuya determinación proviene de la pregunta que motiva el estudio.

La construcción del caso puede desarrollarse mediante el ejercicio de diferentes estrategias de trabajo configurándose a partir de:

- La comparación de situaciones distintas
- El recuento de un hecho o conjunto de hechos dados que requieren ser atendidos
- La documentación de un hecho o conjuntos de hechos que se vislumbran como probables, exigiendo una acción de adaptación anticipada

- La revisión de un proceso de intervención: los antecedentes, los análisis realizados en su momento, las acciones intencionales realizadas, la justificación de las mismas y su desenvolvimiento

En cualquiera de estos procedimientos, es necesario contar con categorías de análisis que permitan el estudio de una situación interesante desde el punto de vista del contexto en cuanto a su complejidad. Ellas determinan cuáles son los datos pertinentes a seleccionar dentro del universo de datos relacionados. La pregunta o preguntas que se formulan apuntan a las acciones, poniéndolas en relación con los datos.

El estudio de caso puede tener diversos usos, dependiendo de quién lo construye y en qué proporción: en un extremo se tendría la construcción total del caso por parte del profesor y en otro extremo su construcción total por parte de los estudiantes. Entre los dos extremos existen variaciones derivadas de quién propone las categorías de análisis, las preguntas y los conceptos. Tales variaciones introducen diversas experiencias formativas. En todos los estudios, la construcción del caso implica el uso intensivo del ingenio y la creatividad de los participantes, por lo que es fundamental que la actividad en el Estudio de Caso esté centrada en el estudiante.

4.7. El laboratorio

En el laboratorio se vinculan la indagación del estudiante con acciones de experimentación y simulación controladas —como es el caso del laboratorio experimental—, o con situaciones imprevisibles de creación (específicamente artística).

El concepto de experimentación es heredado de las ciencias naturales. En este contexto, tiene que ver con una intervención activa sobre los objetos. La intervención requiere de la creación de unas condiciones, la eliminación de factores obstáculo y la sujeción del objeto a través de distintos recursos, la producción artificial del fenómeno, la observación y la medición, empleando los dispositivos técnicos adecuados y contando con el soporte del modelado de los fenómenos que son objeto de su estudio. El concepto de experimentación que ofrece el campo de las ciencias naturales vincula instrumentos, ciertos atributos de la materia y procedimientos, en función de la comprobación de una hipótesis, la demostración de una fórmula o del desarrollo de un problema. El elemento común a todas estas variaciones es la observación controlada.

El laboratorio da lugar al ensayo. Se trata con ello de someter una materia o un objeto a determinadas condiciones y observar los resultados del comportamiento del sistema en cada conjunto de parámetros que condicionan su funcionamiento en cada instancia. De este modo, es posible comprobar de manera empírica los modos de operar en relación con condiciones similares establecidas para comprobar hipótesis y/ o definir leyes dadas por la regularidad de los patrones encontrados.

Por su naturaleza, el Laboratorio en la MM&S estará implementado principalmente mediante el uso de la experimentación numérica, de la cual la simulación computacional

propriadamente dicha es parte esencial; sumada a la validación de los resultados, la comparación con los resultados de modelos análogos y el análisis crítico del valor y aportación del proceso de modelado y simulación.

Las universidades Central y Jorge Tadeo Lozano cuentan con un conjunto de laboratorios y recursos experimentales⁷⁸ y de cómputo dentro de los cuales destacan actualmente:

- Laboratorio de Análisis de la Marcha (U. Central)
- Laboratorios del Centro de Biosistemas (U. Jorge Tadeo Lozano)
- Salas de cómputo para estudiantes del Departamento de Ciencias Básicas (U. Jorge Tadeo Lozano)
- Laboratorio de Bases de Datos (U. Jorge Tadeo Lozano)
- Laboratorios de Señales, Ing. Electrónica (U. Central)
- Salas de Cómputo adscritas al Centro de Cómputo de la Facultad de Ingeniería (U. Central)
- Laboratorios de Microbiología, Limnología, Fluidos y reología, Histología, Fotografía, Bioprospección, Bioprocesos, Bioinformática, Animación, Tridimensional y Aula Cad Cam. (U. Jorge Tadeo Lozano)
- Sala múltiple. (U. Jorge Tadeo Lozano)

Igualmente, dentro del Plan de Desarrollo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central, se prevé la construcción a corto plazo de varios laboratorios, los cuales, por la naturaleza del programa, están relacionados con las herramientas y destrezas técnicas propias de la Maestría en Modelado y Simulación.

Dentro de los mencionados laboratorios en previsión, se destacan:

- Laboratorio de Programación de Computadores
- Laboratorio de Desarrollo de Software
- Laboratorio de Redes y Comunicaciones Digitales
- Laboratorio de Cómputo de Alto Desempeño

4.8. Apoyo académico desde la Virtualización

El programa de Maestría en Modelado y Simulación entiende la virtualización, no como un reemplazo del proceso de enseñanza y aprendizaje presencial, sino como un soporte para la complementación y extensión del mismo, en el cual las nuevas tecnologías, principalmente relacionadas con el acceso a materiales digitalizados y/o interactivos

⁷⁸ Ver Capítulo 8: Medios Educativos

facilita la asimilación de los conceptos y herramientas presentados durante el desarrollo de las clases.

De este modo, la virtualización de contenidos de apoyo será un componente fundamental de todos los cursos del programa de Maestría en Modelado y Simulación, facilitando el acceso a recursos bibliográficos, tutoriales y contenidos dinámicos que faciliten los procesos de aprendizaje durante el trabajo de estudio autónomo del estudiante.

Además, el programa se apoyará en las plataformas Ambiente Virtual de Aprendizaje Tadeísta (AVATA) y en el sistema Moodle (con soporte de la unidad de Ambientes Virtuales de Enseñanza-Aprendizaje -AVEA- de la U. Central), en los cuales los docentes deberán ubicar los programas y los sílabos de cada materia y el material de las asignaturas con anticipación al inicio de cada clase. De igual forma, los docentes pueden utilizar estas plataformas, indistintamente, para realizar controles de lectura, foros, exámenes y trabajos finales, como apoyo al seguimiento permanente a las actividades académicas de los estudiantes.

