

18-11-2016

# Cambio tecnológico en la cadena de valor en los sectores de industria, transporte, servicios y residencial

## Equipo de Trabajo

---

### ***Grupo de Investigación en Energía, Ambiente y Desarrollo (EADE)***

***Universidad Jorge Tadeo Lozano***

Ph.D. Isaac Dyner Rezonzew  
Ph.D. Diego Gómez  
Dr.-Ing. Carlos Andrés Forero  
Dr.-Ing. Andrés Julián Aristizabal  
MSc. Bibiana Cuartas  
MSc. Grace Quiceno  
MSc. Raúl Ávila  
Ing. Andrea Méndez  
Ing. Jairo Chauta  
Ing. Jorge Nieves  
Ing. Carlos Andrés Álvarez  
Ing. Edison Giraldo

### ***Subdirección de Demanda***

***Unidad de Planeación Minero Energética***

Dr. Carlos García  
Ec. Carolina Sánchez  
Ing. Luis Alejandro Galvis  
Ing. Andrés Téllez  
Ing. Carolina Obando  
Ing. William Martínez  
Ing. Leonardo Camacho  
Ing. Omar Báez Daza

## 1 Resumen Ejecutivo

---

El constante desarrollo de la humanidad ha estado estrechamente relacionado con un aumento de la demanda de energía en diferentes sectores como lo son el industrial, transporte, terciario y residencial. Una de las bases para hacer frente de la mejor manera posible a estos cambios de la demanda es mediante la definición de modelos y escenarios que permitan proyectar las necesidades de cada uno de los sectores en un futuro cercano y establecer políticas públicas para orientar el comportamiento de los sistemas y tecnologías existentes en cada sector. Sin embargo, estas políticas, escenarios y modelos deben estar fundamentadas en el conocimiento claro del comportamiento de los sistemas, tecnologías y requerimientos energéticos relacionados con cada uno de los sectores durante los últimos años así como la evolución de la tecnología empleada para el aprovechamiento de las fuentes de energía disponibles en los usos finales. Este proyecto desarrollado en conjunto por el grupo de investigación en Energía, Ambiente y Desarrollo (EADE) de la Universidad Jorge Tadeo Lozano en cabeza del prof. Ph.D Isaac Dyner, junto con el equipo de trabajo de la Subdirección de Demanda de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) pretende en general: i) establecer la forma en la cual se han producido los cambios tecnológicos y consumos energéticos en los principales procesos de cada uno de los sectores industria, transporte, residencial, terciario, agropecuario, construcción, y generación de energía eléctrica; ii) adelantar un ejercicio de prospectiva relacionado con el cambio tecnológico y consumo energético en los próximos 35 años; y iii) entender los principales elementos de política y planificación energética en el mediano y largo plazo. Este documento tendrá tres entregables en los cuales se presentan los resultados compilados de las actividades desarrolladas hasta el momento.

La primera parte del documento presenta los diferentes análisis de la variación de la demanda de energía para los sectores Industria, Transporte, Terciario (Comercio y Servicios) y Residencial en los últimos 30 años. Más aún, se analizaron los sectores Agropecuario, Construcción y Generación de energía eléctrica como valor agregado al marco contractual definido en el convenio; esto teniendo en cuenta la importancia que estos sectores tendrán en los próximos años. Adicionalmente, esta parte incluye, para cada uno de los sectores, el análisis de las diferentes matrices insumo-producto a nivel nacional entre los años 2000 y 2015. Junto a esto, se llevó a cabo una comparación de la matriz insumo-producto de cada sector con las matrices del sector en diversas economías a nivel internacional. Países tales como Alemania, Reino Unido, Corea del Sur, Suecia, Estados Unidos, Chile y México fueron tenidos en cuenta y analizados. La primera parte del documento finaliza con la identificación de las actividades asociadas a la cadena de valor tecnológica de cada uno de los sectores, lo cual permite identificar como son las relaciones entre las actividades del sector con las demás actividades de la economía nacional, y cuáles son las etapas de proceso y usos finales que presentan mayores demandas de energía para cada sector y/o subsector.

La segunda parte del documento comprende una revisión al análisis de la evolución tecnológica de los principales usos finales de energía; estos usos finales se clasificaron como fuerza motriz, generación de calor, iluminación, refrigeración y acondicionamiento de aire. Para cada uno de estos

usos se realizó una revisión de la evolución histórica de la tecnología a nivel internacional, seguida de una compilación de la evolución histórica en Colombia, permitiendo identificar hitos y aspectos que afectaron la penetración y proliferación de ciertas tecnologías en los últimos años. Finalmente, para cada una de las tecnologías relacionadas con los usos finales se llevó a cabo un ejercicio de prospectiva de cambio tecnológico empleando técnicas de minerías de datos y vigilancia tecnológica. Esto permitió identificar aquellas tecnologías que se encuentran en etapa de madurez, de crecimiento tardío o en sus etapas de exploración relacionadas con cada uso final de la energía.

La tercera parte del documento presenta el análisis Delphi de prospectiva de cambio tecnológico en los diferentes sectores, para esto se realizaron entrevistas con expertos nacionales de empresas reconocidas como Terpel, Ecopetrol, Empresas Públicas de Medellín (EPM), Haceb, y Carvajal. Adicionalmente se presenta la metodología de elaboración de escenarios que se siguió para la realización de un taller de escenarios con expertos internacionales y nacionales cuyo objetivo era compartir sus experiencias en la identificación de posibles cambios tecnológicos que se darán en cada uno de los sectores objeto de estudio. Esta parte termina con las conclusiones que derivaron de este taller de escenarios, diferentes aspectos que serán tenidos en cuenta en la siguiente etapa del proyecto.

La última parte del documento presenta una introducción a los modelos de investigación conjunto que se están desarrollando entre los integrantes del grupo de Investigación en Energía, Ambiente y Desarrollo (EADE) y los integrantes de la Subdirección de Demanda de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). Estos modelos se basan en herramientas de cálculo soportadas por balances de energía a través de los años en el periodo 2015-2050; así mismo, se presentan las relaciones causales de los modelos que se están desarrollando en la tercera etapa del proyecto con base en la teoría de Dinámica de Sistemas.

De esta forma el documento presentado a continuación recopila información importante de diferentes sectores y usos finales de energía, su comportamiento en los últimos 30 años y su posible variación en los siguientes 35 años. De tal manera que la información aquí descrita y el análisis realizado brindarán herramientas adecuadas para la definición de posibles estrategias de política pública que permitan el desarrollo eficiente y sostenible de cada sector. Así mismo permitirán identificar los puntos clave en los cuales promover el desarrollo de alternativas innovadoras para optimizar la demanda de energía de cada sector

## 2 Objetivos

---

### 2.1 Objetivos generales

- Establecer la forma en la cual se han producido los cambios tecnológicos y consumos energéticos en los principales procesos de cada uno de los sectores industria, transporte, residencial, comercial, agropecuario, construcción, servicios y generación de energía eléctrica.
- Adelantar un ejercicio de prospectiva relacionado con el cambio tecnológico y consumo energético en los próximos 35 años.
- Entender los principales elementos de política y planificación energética en el mediano y largo plazo.

### 2.2 Objetivos específicos

- Establecer los principales sectores y subsectores con base en la intensidad energética y el impacto en el consumo nacional de energía
- Crear una línea de tiempo con las tendencias en investigación, desarrollo, innovación, producción, comercialización y otras que se consideren pertinentes, de las tecnologías y energéticos relacionados con las principales aplicaciones energéticas.
- Identificar una línea de tiempo con la evolución tecnológica de los principales sectores de la economía nacional.
- Evaluar posibles evoluciones de la transformación tecnológico y el uso energético hasta el año 2050 mediante herramientas de modelado, simulación, y escenarios junto con el apoyo de expertos nacionales e internacionales
- Realizar recomendaciones sobre las mejoras, cambio o adaptaciones que deben ser introducidas para fomentar el uso de las nuevas tecnologías en los sectores de industria, transporte, comercio, servicios y residencial.

### 3 Metodología

---

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo mediante la ejecución de actividades agrupadas en diferentes fases. Para la primera parte del proyecto, el grupo de trabajo se encargó de la revisión de los diferentes consumos de energía reportados en las fuentes de información de la Agencia Internacional de Energía (IEA), los resultados de la UPME del estudio Bariloche 1985-2005 (Bariloche) y el nuevo balance energético colombiano desarrollado por los integrantes del grupo de la subdirección de demanda (BECO). Posterior al análisis de la información a nivel nacional, se llevó a cabo la identificación del comportamiento del consumo de energía en los sectores de la economía clasificados en los siguientes grupos:

1. Sector Residencial
2. Sector Industria
3. Sector Transporte
4. Sector Terciario-Comercio
5. Sector Terciario-Servicios
6. Sector Agro
7. Sector Construcción
8. Generación de energía eléctrica

Para cada uno de estos sectores se compiló la información relacionada con el consumo energético durante los últimos 30 años, se diferenció de acuerdo al recurso energético empleado, y se identificaron tendencias y puntos críticos en los cuales las diferencias entre los datos presentados por cada uno de las fuentes de información fueron relevantes.

De forma paralela se llevó a cabo la recopilación de las diferentes matrices insumo-producto reportadas por el DANE entre 2000 y 2015. Empleando esta información se realizó el análisis de la variación en el dinero gastado entre los diferentes sectores con los proveedores de los recursos energéticos, energía eléctrica, gas domiciliario, derivados del petróleo, entre otros. Inicialmente se llevó a cabo la distribución de los recursos energéticos y de los sectores teniendo en cuenta los siguientes códigos de la matriz insumo-producto.

Tabla 1 Sectores analizados y su discriminación con relación a las cuentas nacionales reportadas por DANE en matriz-insumo producto

Energéticos	6	Carbón Mineral
	7	Petróleo crudo, gas natural y minerales de Uranio y Torio
	24	Productos de madera, corcho, paja y materiales trenzables
	27	Productos de la refinación del petróleo, combustible nuclear
	37	Desperdicios y desechos
	38	Energía eléctrica
	39	Gas Domiciliario
Residencial		Total consumo hogar
Transporte	46	Servicios de transporte terrestre
	47	Servicios de transporte por vía acuática
	48	Servicios de transporte por vía aérea
Comercio	43	Comercio
Construcción	41	Trabajos de construcción, construcción y reparación de edificaciones, y servicios de arrendamiento de equipo con operario
	42	Trabajos de construcción, construcción de obras civiles y servicios de arrendamiento de equipo con operario
Agropecuario	1	Productos de café
	2	Otros productos agrícolas
	3	Animales vivos, productos animales y productos de la caza
	4	Productos de silvicultura, extracción de madera y actividades conexas
	5	Productos de la pesca, la acuicultura y servicios relacionados

Fuente: Elaboración propia tomada de Matriz Insumo-Producto DANE

Tabla 2 Sectores analizados y su discriminación con relación a las cuentas nacionales reportadas por DANE en matriz-insumo producto

Industria		
Alimentos, Bebidas y Tabaco	10	Carnes y pescados
	11	Aceites y grasas animales y vegetales
	12	Productos lácteos
	13	Productos de molinería, almidones y sus productos
	14	Productos de café y trilla
	15	Azúcar y panela
	16	Cacao, chocolates y productos de confitería
	17	Productos alimenticios n.c.p
	18	Bebidas
	19	Productos de tabaco
Papel e Imprenta	25	Productos de papel, cartón y sus productos
	26	Edición, impresión y artículos análogos
Metálicos	31	Productos metalúrgicos básicos (excepto maquinaria y equipo)
No metálicos	30	Productos minerales no metálicos
Químicos	28	Sustancias y productos químicos
Refinería	27	Productos de la refinación del petróleo, combustible nuclear
Potencia	38	Energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia tomada de Matriz Insumo-Producto DANE

Posteriormente se procedió a realizar una comparación con las matrices insumo-producto de países tales como Alemania, Irlanda, España, Corea del Sur, Israel, Singapur, Chile, México, y Reino Unido de tal manera que se obtuvieran parámetros de análisis en cuanto al comportamiento de los sectores en diferentes ámbitos culturales y económicos. Estos análisis permiten identificar como es el comportamiento de cada sector en los distintos países y permitirá vislumbrar posibles modificaciones en los sectores colombianos con el ánimo de buscar desarrollos similares a los otros países.

Partiendo de los análisis de insumo-producto es posible establecer las interrelaciones existentes entre los diferentes sectores y actividades económicas existentes a nivel nacional. Con estas interrelaciones y aplicando la metodología de cadena de valor de Porter se identificaron las diferentes cadenas de valor sectoriales. En casos como el sector Industria, Transporte, Terciario-Servicios y Terciario-Comercio, estas interrelaciones pueden ser diferentes por lo cual establecer una cadena de valor sectorial se hace un poco más complicado. Para solucionar esto, se analizaron diferentes tipos de actividades que se desarrollan en cada uno de los sectores, estableciendo diversas cadenas de valor específicas que luego fueron comparadas y analizadas para así poder

armar la cadena de valor general del sector. Los datos tomados del Balance Energético Colombiano y de la Matriz Insumo-Producto del DANE fueron empleados como suministro para conocer la distribución porcentual de ingresos y egresos relacionados con transacciones de energéticos y los consumos de cada uno de los mismos en cada sector. Así mismo, estas cadenas de valor prestan especial interés al uso que se le da a estos energéticos con base en los diferentes usos finales identificados en este proyecto (fuerza motriz, calentamiento, acondicionamiento de aire, refrigeración, iluminación, e informática y otros).

Simultáneamente, el equipo de trabajo junto con el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico (CIDET) llevó a cabo un análisis de vigilancia tecnológica para las tecnologías actualmente empleadas en generación de energía eléctrica y aprovechamiento de energía en las aplicaciones finales mencionadas con anterioridad. Para esta etapa del proyecto, se contrataron los servicios de CIDET quienes presentaron un informe del cambio en el número de publicaciones y patentes existentes asociadas a las diversas aplicaciones durante los últimos 50 años. Esto permite establecer cuáles de estas tecnologías se encuentran en fase de difusión inicial, crecimiento inicial, crecimiento tardío y madurez tecnológica. Por otro lado, asociado a esta misma actividad, se revisaron algunos sitios de prospectiva que presentaran recopilación de información relacionada con costos nivelados de energía y su variación en los siguientes años. Se analizan las curvas de variación de costos de diversas tecnologías a base de fuentes fósiles y renovables en un periodo comprendido entre el 2015 y 2050.

De igual manera, se realizó una recopilación de información relacionada con la evolución de las diferentes tecnologías relacionadas con los usos finales de energía (acondicionamiento de aire, refrigeración, generación de calor, iluminarias y fuerza motriz). Con base en esto se establecieron las líneas preliminares de cambio tecnológico a nivel mundial y en el ámbito nacional. Estas se complementaran con base en diferentes entrevistas que se llevaran a cabo con expertos nacionales quienes cuentan con experiencia en cada uno de los usos finales de energía y pueden dar información relacionada a la evolución de la tecnología en el contexto nacional.

Con base en las cadenas de valor establecidas, las curvas de costos, los resultados de vigilancia tecnológica, y las matrices insumo-producto es posible identificar como es el comportamiento de los sectores de la economía y el efecto que puede llegar a tener el cambio tecnológico en la demanda de energía durante los siguientes años. Sin embargo, hacer el análisis de prospectiva tecnológica tiene un alto grado de incertidumbre puesto que aspectos políticos, económicos, ambientales y de mercado pueden afectar la velocidad con que se lleven a cabo los cambios en cada uno de los sectores. Por esto, el equipo de trabajo UJTL junto con los diferentes integrantes de la subdirección de Demanda de la UPME llevaron a cabo un análisis y taller de escenarios generales. Para esto fue necesario identificar cuáles eran dos de los ejes más influyentes en los diferentes escenarios que puede vivir el país en los próximos años. Los ejes definidos como fundamentales, fueron costos de tecnologías y políticas favorables al cambio tecnológico. Con esto se establecieron cuatro escenarios que fueron analizados en taller realizado en Octubre del presente año, donde se contó con la participación de expertos internacionales y nacionales que trabajan en cada uno de los sectores de la economía. Adicional a este taller, se realizaron unas herramientas de cálculo que permitieran

establecer de forma rápida y simplificada como algunos parámetros de costos y políticas podrían incidir en la demanda de energía en cada uno de los sectores relacionados a través de este proyecto.

A parte de los expertos nacionales participantes del taller se llevaron a cabo reuniones con expertos de Ecopetrol, Terpel y empresas Públicas de Medellín siguiendo la metodología Delphi para analizar cómo se han dado los cambios de tecnología en cada uno de los sectores y cuál es la expectativa de cambio de acuerdo a la experiencia en cada una de estas empresas. La Figura 1 resume las diferentes actividades realizadas al momento, aquellas etapas resaltadas en amarillo fueron ejecutadas y las que se encuentran en azul se encuentran actualmente en desarrollo.

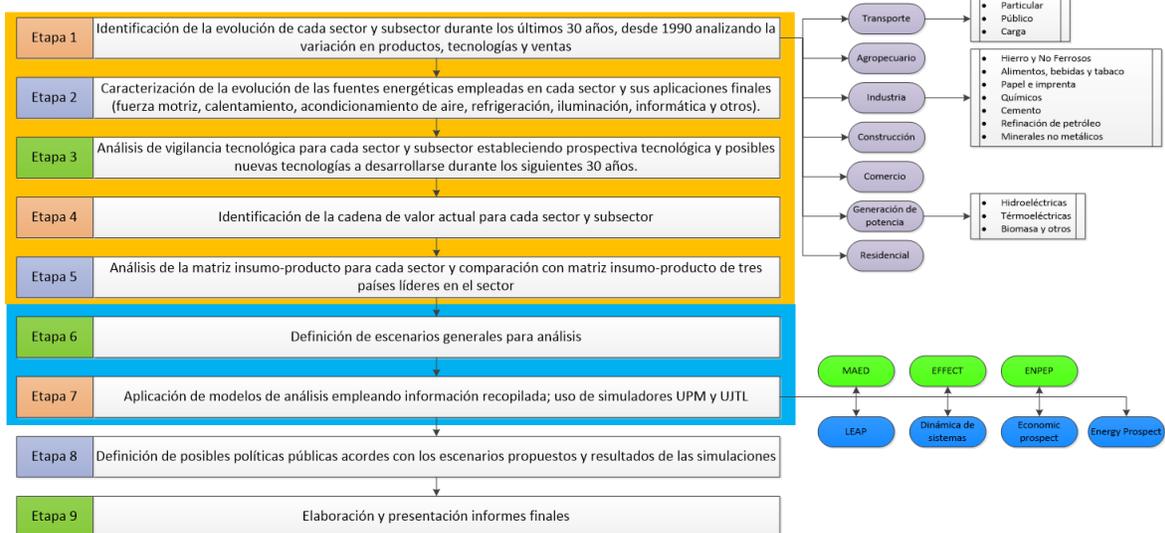


Figura 1 Estructura general del proyecto de investigación indicando cada una de las etapas descritas en el documento

Fuente: Elaboración propia

El grupo de trabajo está conformado por profesionales de diferentes áreas conocedores de cada una de las tecnologías y de sistemas energéticos, liderados por el Ph.D. Isaac Dyer, decano de la facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. (Figura 2)

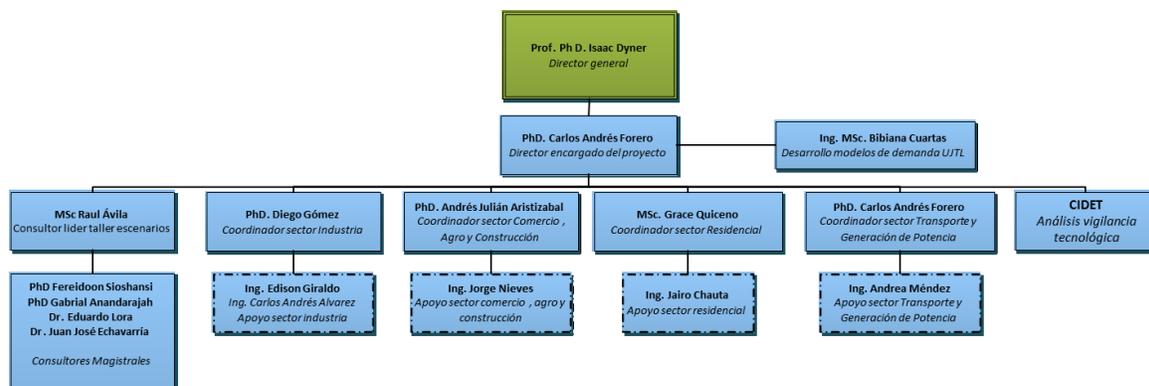


Figura 2 Organigrama del equipo de trabajo

Fuente: Elaboración propia

El resumen general de la metodología incluida en el primer entregable se encuentra descrita en Figura 3.

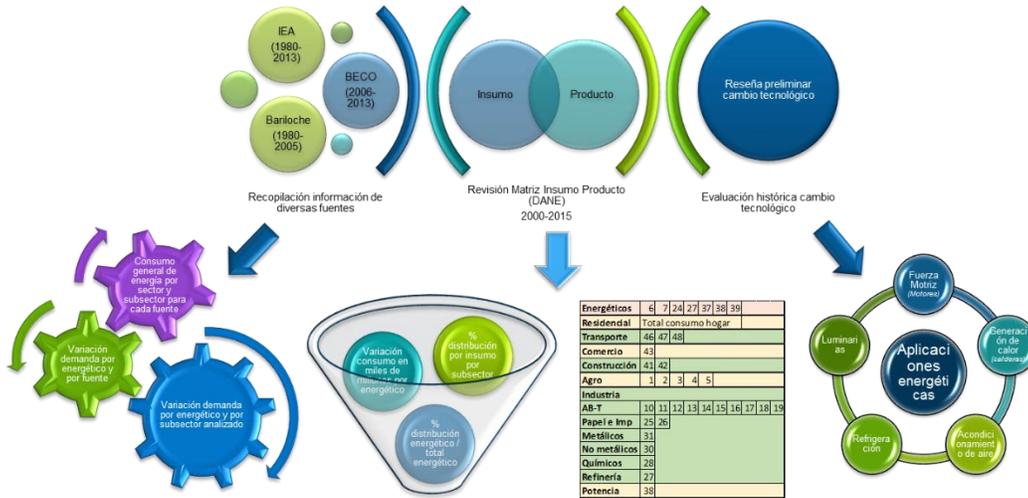


Figura 3 Resumen general de la metodología empleada en esta primera fase del proyecto  
Fuente: Elaboración propia

El resumen general de la metodología incluida para la identificación de la cadena de valor se presenta a continuación (Figura 4). De igual manera los diferentes aspectos considerados en la elaboración de los escenarios se incluyen en la Figura 5 donde se tuvieron en cuenta los resultados de vigilancia tecnológica, cambio de políticas nacionales, y variación de los costos de las tecnologías.

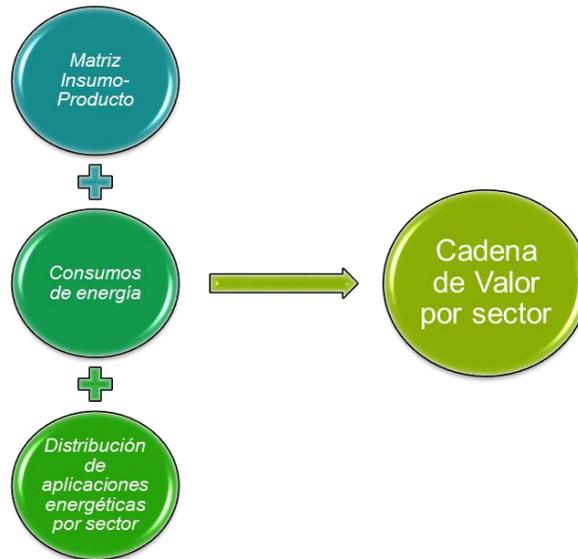


Figura 4 Resumen general elementos considerados para realización de las cadenas de valor  
Fuente: Elaboración propia



Figura 5 Resumen general elementos considerados para realización análisis de escenarios  
Fuente: Elaboración propia