

Modelo de largo plazo de la demanda de energía en el sector industrial

Yezid Orlando Pérez Alemán
 Angélica Jiménez
 Claudia Villarraga

RESUMEN: El artículo presenta los resultados del diseño, desarrollo e implementación de un modelo de determinación de necesidades energéticas para Colombia utilizando la metodología del MAED (*Model for energy demand analysis*). Las particularidades del consumo de energía en Colombia hacen necesarias ciertas adaptaciones y adecuaciones de la estructura original del modelo, lo cual hace de este ejercicio algo valioso desde el punto de vista académico e investigativo. Inicialmente se lleva a cabo el módulo correspondiente al sector industrial manufacturero. El alcance del trabajo incluyó el desarrollo de un aplicación sistematizada que permita realizar en cualquier momento y bajo diferentes condiciones y supuestos pronósticos de mediano y largo plazo de la demanda de energía. Se presentan igualmente los resultados obtenidos en la validación del modelo y que muestran la bondad de la aplicación sistematizada.

INTRODUCCIÓN

En el marco de una planeación energética integral, en donde el análisis de la demanda es tan importante como el de la oferta, la determinación de las necesidades energéticas se constituye en el primer paso que permite posteriormente formular alternativas desde el punto de vista de la oferta para atender dichas necesidades.

En el análisis cuantitativo de la demanda de energía se han desarrollado y empleado modelos econométricos, de orientación técnica, analíticos y tecnicoeconómicos. A partir de ellos se ha desarrollado un nuevo enfoque metodológico que tiene en cuenta tanto variables de naturaleza económica como parámetros técnicos para explicar la demanda de energía. Dentro de este concepto se encuentra el modelo MAED (*Model for analysis of energy demand*) [1] diseñado para evaluar las necesidades energéticas de mediano y largo plazo de un país y cuya metodología con ciertas reorientaciones y adecuaciones al caso colombiano constituye tema de interés en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana. El presente estudio recoge los aspectos más importantes de la aplicación de la metodología al caso del sector industrial efectuado en desarrollo de un trabajo de grado[2].

El objetivo general del estudio es desarrollar e implementar un modelo sistematizado de determinación de necesidades energéticas para el sector industrial manufacturero en Colombia. El modelo sistematizado ofrece la posibilidad de evaluar diferentes escenarios de desarrollo macroeconómico y técnico, haciendo de éste una herramienta adecuada en el proceso de planeación energética del sector energético colombiano.

El estudio comprende, el diseño conceptual de un modelo que determine las necesidades energéticas en el caso de consumidores industriales, el desarrollo de la formulación necesaria para la caracterización y pronóstico de dichas necesidades y la implementación desde el punto de vista de sistemas del módulo para el sector industrial. La aplicación sistematizada se desarrolló en lenguaje Visual Basic para Excel 7.0 y se maneja por medio de menús que hacen del modelo una aplicación interactiva. A partir de la formulación básica del modelo el usuario podrá con la aplicación sistematizada definir sus propios escenarios y encontrar resultados en forma tabular y gráfica en términos de energía útil y energía final para los años determinados en el horizonte de proyección.

Para validar el modelo se realizó la proyección de la demanda de energía en el mediano y largo plazo asumiendo tres escenarios de referencia resultantes de la combinación de las variables independientes del modelo, obteniéndose resultados previsibles comparados con los de otros modelos de proyección de demanda de energía, corroborándose de esta manera la bondad del modelo.

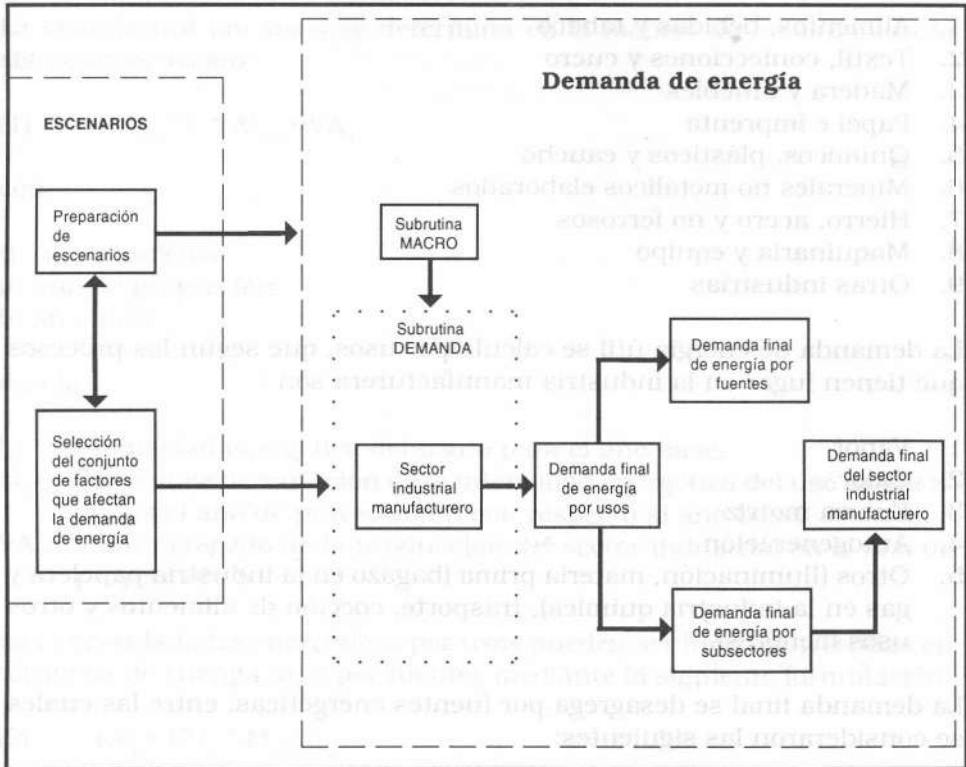
ASPECTOS METODOLÓGICOS Y ESTRUCTURA DEL MODELO DESARROLLADO

La base teórica empleada para el diseño y desarrollo del módulo de determinación de necesidades energéticas de consumidores del sector industrial manufacturero colombiano fue la metodología del MAED (*Model for energy demand analysis*) con ciertas reorientaciones necesarias para lograr una mejor aproximación al caso colombiano. La metodología comprende las siguientes secuencias de operaciones básicas :

- a) Desagregar consistentemente el consumo final de energía del país en diferentes categorías de uso final.
- b) Identificar los factores de orden social, económico y técnico que determine cada categoría de uso final de la demanda.
- c) Especificar en términos matemáticos los vínculos funcionales entre consumo de energía y los factores determinantes.
- d) Construir escenarios consistentes de desarrollo socioeconómico y técnico.
- e) Evaluar el consumo de energía correspondiente a cada escenario.

El modelo desarrollado calcula la energía útil del sector industrial manufacturero desagregada en sus respectivos subsectores por usos industriales y la demanda de energía final según fuentes energéticas. (Véase Gráfico 1).

Gráfico 1. Estructura general de la metodología del MAED aplicado al sector industrial manufacturero colombiano.



Para calcular la demanda de energía se definieron los siguientes escenarios:

1. Escenario socioeconómico: Se construye en términos del valor agregado del sector industrial manufacturero para los años a proyectar.
2. Escenario técnico: Se construye en términos de:
 - a) Porcentaje de variación de las intensidades energéticas del año a proyectar con respecto al año base.

- b) Porcentaje del uso de energía que puede ser atendido por la fuente de energía f en el año de proyección n .
- c) Grado de eficiencia de la transformación energética de la fuente f para el uso u , en el año de proyección n .

En el caso colombiano y a diferencia del MAED se adoptó la siguiente desagregación de la industria manufacturera colombiana, teniendo en cuenta la organización de la información sectorial en Colombia de acuerdo con la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU):

1. Alimentos, bebidas y tabaco
2. Textil, confecciones y cuero
3. Madera y muebles
4. Papel e imprenta
5. Químicos, plásticos y caucho
6. Minerales no metálicos elaborados
7. Hierro, acero y no ferrosos
8. Maquinaria y equipo
9. Otras industrias

La demanda de energía útil se calcula por usos, que según los procesos que tienen lugar en la industria manufacturera son :

1. Vapor
2. Calor
3. Fuerza motriz
4. Autogeneración
5. Otros (Iluminación, materia prima (bagazo en la industria papelera y gas en la industria química), transporte, cocción de alimentos y otros usos menores).

La demanda final se desagrega por fuentes energéticas, entre las cuales se consideraron las siguientes:

1. Bagazo
2. Carbón mineral
3. Gas natural
4. Energía eléctrica
5. Petróleo
6. Derivados del petróleo
7. Otros.

El modelo supone la definición de un año de referencia, —llamado año base— para el cual se cuenta con la información suficiente requerida para la realización de proyecciones. Teniendo en cuenta la disponibilidad de información tanto de consumo de energía como del comportamiento

de la actividad económica de la industria manufacturera colombiana se estableció el año 1994 como año base del ejercicio. En algunas ocasiones fue sin embargo necesario realizar estimaciones de algunos de los parámetros del modelo para dicho año base a partir de información correspondiente a años anteriores ante la carencia de información confiable y suficiente; en esas ocasiones se recurrió a modelos de regresión lineal simple para la proyección. Para las estimaciones de mediano y largo plazo se fijaron los años 1998, 2005 y 2010 como los años del horizonte de proyección.

La energía útil por usos se determina en el modelo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(1) \quad EU_{un} = I_b * \Delta I_{n,b} * VA_n$$

con:

u: uso energético

n: año de proyección

b: año base

donde:

I_b : Intensidad energética del uso u para el año base.

$\Delta I_{n,b}$: Porcentaje de variación de la intensidad energética del uso de energía u del año de proyección n con respecto al año base.

VA_n : Valor agregado de la producción del sector industrial en el año de proyección n .

Las necesidades energéticas por usos pueden ser luego convertidas en términos de energía final por fuentes mediante la siguiente formulación:

$$(2) \quad EF_f = EU_u * M_{uf} / E_{fu}$$

EU_u : Demanda de energía final por uso.

M_{uf} : Porcentaje del uso de energía u que puede ser atendido por la fuente f .

E_{fu} : Grado de eficiencia de la transformación energética de la fuente f para el uso u .

En el modelo se definen como parámetros aquellos valores de referencia para el año base que permiten realizar las proyecciones de las necesidades energéticas. Desde el punto de vista de la aplicación sistematizada estos valores no son susceptibles de modificar por parte del usuario. Como parámetros del modelo se tienen:

1. Consumo de energía por usos del sector industrial manufacturero: consumo de energía de la industria manufacturera para llevar a cabo los diferentes procesos de producción y funcionamiento, desagregado por subsectores; El consumo de energía por subsectores para el año base fue tomado del balance energético correspondiente[3]; la desagregación por usos se hizo aplicando a las cifras del balance de energía los porcentajes de participación por uso obtenidos de la Encuesta Industrial de Usos y Consumos de la Energía[4].

2. Valor agregado del sector industrial manufacturero: indicador del nivel de actividad económica de los subsectores industriales considerados. Información obtenida en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y convertida en el modelo a cien millones de pesos.

3. Intensidad energética: información que refleja el grado de desarrollo tecnológico de la industria en el país al representar la cantidad de energía consumida por unidad de valor agregado. Es un dato calculado por el modelo para cada uso dentro de cada subsector y expresada en unidades equivalentes de energía por cada cien millones de pesos de producción.

Como variables independientes el modelo define aquellas variables exógenas a partir de las cuales el usuario puede observar diferentes escenarios de pronóstico de la demanda de energía; estas son:

1. Valor agregado de la producción del sector manufacturero industrial desagregado en sus respectivos subsectores para los años a proyectar: esta proyección describe el desarrollo económico de la industria mostrando la evolución del nivel de actividad económica de los diferentes subsectores de la industria manufacturera. Está calculado en cien millones de pesos y sus crecimientos en porcentaje (%) con respecto al año base. Para estas estimaciones se tuvieron en cuenta las proyecciones realizadas por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) para el total del sector industrial manufacturero, en donde no es posible acceder a un mayor nivel de desagregación por subsectores industriales. Para el horizonte de proyección establecido las variaciones supuestas son producto de estimaciones de acuerdo con los escenarios planteados.

2. Porcentaje de variación de las intensidades energéticas por uso del año a proyectar con respecto al año base: esta proyección describe el desarrollo técnico de las industrias al emplear mayor o menor energía en sus procesos para producir sus bienes y/o servicios. La evolución de las intensidades energéticas por usos en el horizonte de proyección se estima en cada uno de los escenarios definidos a partir del comportamiento histórico de la intensidad energética por subsector aplicando la información obtenida en la Encuesta Industrial de Usos y Consumos de Energía para la discriminación de las intensidades energéticas por usos y consi-

derando adicionalmente supuestos acerca de tendencias en los diferentes subsectores que pueden afectar el consumo específico de energía como el adelanto tecnológico, procesos sustitutivos de unos procesos extensivos por otros intensivos en consumo de energía, impacto de nuevas tecnologías, sustitución posible entre fuentes de energía, entre otras.

3. Porcentaje del uso de energía que puede ser atendido por la fuente: este porcentaje refleja la participación de cada uno de los energéticos que se pueden emplear para satisfacer un uso específico y por esto, las posibles sustituciones que se pueden realizar, según precios y tecnología, entre energéticos para suplir la necesidad de energía de dicho uso. En su formulación original el MAED plantea una relación funcional entre este porcentaje y los precios relativos de los energéticos; en el modelo sin embargo, esta información es suministrada exógenamente aplicando los porcentajes de participación de las fuentes a los usos obtenidos por la Encuesta Industrial de Usos y Consumos de Energía.

4. Grado de eficiencia de la transformación energética de la fuente para el uso: los equipos como calderas, hornos, motores y equipos autogeneradores empleados en la industria para producir vapor, calor, fuerza motriz y energía eléctrica tienen diferentes eficiencias, las cuales varían según el energético empleado, la tecnología y la edad de los equipos. El grado de eficiencia empleado se obtiene calculando una eficiencia ponderada promedio del empleo de una fuente energética determinada en cada uso, emplean para ello la información de los equipos de transformación energética contenida en la Encuesta Industrial de Usos y Consumos de Energía.

RESULTADOS OBTENIDOS

Para el pronóstico de las necesidades energéticas futuras se definieron para cada una de las variables independientes, tres opciones de comportamiento: bajo, medio, alto, resultando así un número considerable de posibles escenarios de evaluación. De la totalidad de escenarios posibles se desarrollan en el modelo tres de ellos que se definen como alto-alto, medio-medio, bajo-bajo. La aplicación sistematizada permite empero evaluar cualquier combinación de las variables independientes que, tal como se desprende de la descripción de los escenarios básicos utilizados que aparece a continuación, es lo que constituye un escenario dentro del espectro de posibilidades de las variables independientes. De esta manera es posible mediante el modelo planteado evaluar las repercusiones que acciones de política energética pueden tener en el comportamiento del consumo energético en el sector industrial. De hecho los escenarios básicos planteados evalúan la incidencia que acciones como la posible sustitución entre energéticos y una política decidida de modernización

del parque de transformación en el sector industrial puedan tener. La Tabla 1 muestra los criterios aplicables para cada una de las variables independientes en cada uno de sus escenarios.

De acuerdo con esta definición de los escenarios de referencia es posible obtener resultados en términos de energía útil y energía final para cada uno de los subsectores industriales y para el total del sector en cada uno de los tres años de proyección. En la Tabla 2 se observan los incrementos porcentuales anuales del consumo de energía para los diferentes usos. La Tabla 3 presenta a su vez los correspondientes incrementos porcentuales anuales sobre el horizonte de proyección para las diferentes fuentes energéticas consideradas.

Tabla 1. Resumen del comportamiento de las variables independientes para los tres escenarios.

VARIABLES	ALTO	MEDIO	BAJO
Porcentaje de variación del valor agregado	Un punto porcentual por encima de las tasas de crecimiento del valor agregado previstas por el DNP en sus estimaciones.	Se asumen las tasas de crecimiento del valor agregado previstas por el DNP en sus estimaciones.	Dos puntos porcentuales por debajo de las tasas de crecimiento del valor agregado previstas por el DNP en sus estimaciones.
Porcentaje de variación de las intensidades energéticas	Crecimiento al mismo ritmo de las tasas promedio anuales históricas.	Crecimiento hasta 1998 al mismo ritmo de las tasas promedio anuales históricas; a partir de 1998 crecimiento intermedio entre el escenario alto y el bajo.	Crecimiento hasta 1998 al mismo ritmo de las tasas promedio anuales históricas; a partir de 1998 se mantiene constante.
Participación fuente/uso	Sustitución de 100% de derivados del petróleo por gas natural para vapor.	Sustitución de 50% de derivados del petróleo por gas natural para vapor.	No se realizan sustituciones entre energéticos.
Grado de eficiencia de la transformación energética	Sustitución de 100% de equipos de más de 15 años por nuevos.	Sustitución de 50% de equipos de más de 15 años por nuevos.	No habrá sustitución de equipos.

Tabla 2. Colombia. Sector industrial. Crecimiento promedio anual de la energía útil por usos. Escenarios de referencia. 1994 - 2010 (%).

	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	Vapor			Fuerza Motriz		
1994-1998	4.95%	3.99%	2.15%	5.01%	4.02%	2.05%
1998-2005	5.13%	4.04%	1.95%	4.98%	3.96%	1.95%
2005-2010	5.30%	4.11%	1.92%	4.99%	3.95%	1.92%
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	Autogeneración			Calor		
1994-1998	5.03%	4.03%	2.03%	4.97%	4.00%	2.12%
1998-2005	4.95%	3.95%	1.95%	5.09%	4.02%	1.95%
2005-2010	4.93%	3.93%	1.92%	5.21%	4.07%	1.92%

Tabla 3. Colombia. Sector industrial. Crecimiento promedio anual de la energía final por fuentes. Escenarios de referencia. 1994 - 2010 (%).

	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	Bagazo			Petróleo		
1994-1998	17.04%	17.85%	14.58%	18.47%	16.00%	16.50%
1998-2005	5.26%	4.50%	1.99%	4.61%	5.31%	1.75%
2005-2010	6.82%	2.45%	1.87%	5.82%	3.90%	2.41%
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	Carbón mineral			Derivados del petróleo		
1994-1998	7.21%	12.86%	8.17%	4.63%	2.54%	-1.27%
1998-2005	5.04%	4.19%	1.00%	4.90%	3.81%	1.57%
2005-2010	5.64%	0.94%	2.20%	4.99%	4.21%	1.98%
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	Gas natural			Energía eléctrica		
1994-1998	23.88%	23.11%	20.05%	7.94%	8.32%	6.48%
1998-2005	3.45%	3.73%	2.29%	4.53%	2.76%	0.75%
2005-2010	5.75%	3.58%	1.92%	8.13%	6.72%	4.44%

CONCLUSIONES

El modelo desarrollado constituye una adaptación de la metodología del MAED a las particularidades y especificidades del consumo de energía del sector industrial colombiano. Este se convierte en una herramienta adicional para la pronosticación de necesidades energéticas, como punto de partida en un proceso de planeación energética integrada. La aplicación

sistematizada implementada permite evaluar diferentes escenarios del comportamiento del consumo de energía que reflejen decisiones de política energética o posibles estrategias de direccionamiento del consumo de energía en el país.

Actualmente se trabaja en el diseño, desarrollo e implementación de los módulos correspondientes a los otros sectores consumidores de energía a fin de integrar posteriormente todos los módulos que permitan la determinación y el análisis del comportamiento de la demanda de energía siguiendo la metodología propuesta.

El modelo es susceptible de ser mejorado en la medida en que se disponga de mayor cantidad y calidad en cuanto a la información que lo alimenta, lo cual permitirá, entre otras, poder de terminar endógenamente algunas de sus variables determinantes.

REFERENCIA

- [1] Véase *International Atomic Energy Agency (IAEA). Description of the MAED Model for Energy Demand Analysis*. Vienna: IAEA.
- [2] Véase JIMÉNEZ, A.; VILLARRAGA, C. Diseño, desarrollo e implementación de un modelo de determinación de necesidades energéticas para Colombia. Módulo sector industrial. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. 1997.
- [3] Véase Ministerio de Minas y Energía (MME)/Sistema de Informaciones Energéticas (SIE). Balances de Energía. Información suministrada en medio magnético.
- [4] Véase Ministerio de Minas y Energía/Unidad de Información Minero - Energética. Encuesta Industrial de Usos y Consumos de Energía. Santa Fe de Bogotá: MME/UIIME, 1991.