

La Demanda de Energía y el Planeamiento del Sector Eléctrico en Colombia¹

Alvaro Ruiz Hernández²

I. INTRODUCCION

Los montos requeridos de inversión para asegurar el suministro de energía eléctrica son tema de aguda controversia en el país³. Dado que la inversión en generación de energía representó en la primera mitad de los ochentas entre el 30 y el 40% de la inversión pública total, las decisiones en este campo tienen profundas implicaciones de carácter fiscal y macroeconómico. El factor crucial que interviene en este tipo de decisiones es el comportamiento esperado de la

demanda de energía en el horizonte de la inversión. Dicho comportamiento sólo puede ser inferido de manera hipotética con base en un conocimiento exhaustivo de los determinantes de la demanda de energía. De ahí la importancia del tema objeto de este artículo.

Los factores que influyen sobre la demanda de energía eléctrica fueron estudiados hace algunos años por el Estudio Nacional de Energía "ENE", presentado al país en 1982 (Departamento Nacional de Planeación, 1982). Posteriormente, Interconexión Eléctrica "ISA" desarrolló otros modelos que arrojaron discrepancias importantes sobre la materia en relación con los resultados del ENE. Dadas estas discrepancias, es de interés retomar nuevamente el tema, con el fin de detectar el origen de las diferencias entre uno y otro resultado y analizar sus posibles implicaciones en materia de necesidades de inversión futura. Para el efecto, en la Sección II de este artículo se discuten las bases conceptuales a partir de las cuales pueden estudiarse las funciones de demanda de energía eléctrica. En la Sección III se presentan los principales resultados que se obtienen al aplicar esas bases conceptuales al cálculo econométrico de las funciones de demanda. Por último, en la Sección IV se deducen las implicaciones más importantes que resultan de

¹ Este documento es resumen del informe técnico sobre "Modelos para Análisis y Planeamiento del Sector Energético", elaborado por el autor en el Ministerio de Minas y Energía con el auspicio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Sin embargo, sus conclusiones reflejan exclusivamente la opinión del autor y no comprometen a estas entidades.

² Asesor del Ministro de Minas y Energía a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. El autor agradece el apoyo recibido de estas instituciones y los comentarios y sugerencias de los doctores Oscar Mejía, Guillermo Perry, Héctor Gómez, Eduardo Lora y Leonardo Villar.

³ Véanse, por ejemplo, las ponencias incluidas en el *Debate de Coyuntura Económica* No. 10, convocado por Fedesarrollo y Fescol en junio de 1988.

estas nuevas estimaciones para fines de proyección de las necesidades de inversión del sector.

Este trabajo permite llegar a la conclusión que los modelos iniciales del ENE que fueron pioneros en Colombia (así como los que se desarrollaron después siguiendo su enfoque principal) subestiman el crecimiento proyectado del número de abonados del servicio de electricidad, dando origen a proyecciones en los consumos de energía eléctrica inferiores a los reales. Sin embargo, esta deficiencia resulta más que neutralizada en el ENE porque las proyecciones que en él se hicieron sobre crecimiento del PIB y producción industrial resultaron ser mucho más altas que lo efectivamente ocurrido hasta 1987.

La segunda conclusión importante de este trabajo es la de que el consumo de electricidad en el sector residencial es mucho más sensible a variaciones en las tarifas que lo que estimó inicialmente el ENE, lo cual conduce a proyecciones en el consumo inferiores a las del ENE en un contexto de tarifas crecientes en términos reales. El efecto neto de las discrepancias con el ENE en los modelos del número de abonados y de consumo por suscriptor es negativo: la subestimación originada en los modelos del número de suscriptores es mayor que la sobreestimación derivada de los de consumo por suscriptor es negativo: la subestimación originada en los modelos del número de suscriptores es mayor que la sobreestimación derivada de los de consumo por suscriptor.

La tercera diferencia básica con los modelos del ENE se relaciona con las ecuaciones del sector industrial. En las que se presentan aquí es posible examinar el efecto de cambios tecnológicos y productividad sobre el consumo de energía eléctrica.

II. LA FUNCION DE DEMANDA DE ENERGIA: BASES CONCEPTUALES

Un sistema de ecuaciones de demanda de las distintas formas de energía existentes en el país que permita su uso para fines de análisis de sustitución entre energéticos y

de proyección de consumos futuros, debe fundamentarse en teorías de consumo ampliamente aceptadas.

Según la teoría neoclásica del consumidor, la demanda de un producto "normal" está generalmente determinada por variables que en una forma u otra se relacionan con el precio de ese bien, el ingreso, el precio del sustituto y, en ocasiones, con las variaciones de población, hábitos, gustos y factores culturales y climáticos (Ferguson, 1966, Caps. 2 y 3).

En un contexto en el que el consumidor busca maximizar su satisfacción con un ingreso limitado, la relación entre el precio del bien y su consumo es generalmente inversa, esto es, al subir (bajar) el precio del bien su demanda disminuye (aumenta). El nexo con el ingreso es directo, vale decir, al fluctuar hacia arriba o hacia abajo esta variable, la curva de demanda se desplaza en la misma dirección. Por último, la asociación entre el consumo y el precio del sustituto va en el mismo sentido, esto es, al subir (bajar) el precio del sustituto su demanda disminuye (aumenta), lo cual induce movimientos hacia arriba (hacia abajo) del consumo del bien en cuestión. El nexo entre población y la demanda es generalmente positivo y la relación con factores culturales, habitacionales y de gusto puede ser positiva o negativa dependiendo de las condiciones específicas en las que se encuentre el consumidor. De otra parte, las elasticidades-precio varían en relación directa a lo perfecto o imperfecto que sea el sustituto y el número de ellos que existan para el producto específico en la función de consumo (Ferguson, 1966, Caps. 3 y 4).

Este sencillo marco teórico sirve de base para la formulación de las ecuaciones que componen los modelos de demanda de electricidad. Las ecuaciones típicas de cada uno de estos modelos pueden especificarse en su forma estructural de la siguiente manera.

A. Sector residencial

El consumo de este sector se puede definir como resultante de multiplicar el consumo

por suscriptor y el número de suscriptores. La ecuación de consumo por suscriptor es de la siguiente forma:

$$CS_i = a_0 - a_1 TARI_i + a_2 Y_i + a_3 ST_i + a_4 V_i + a_5 CS(-1)_i$$

donde:

- CS_i Es el consumo por suscriptor en la región i, siendo cuatro las regiones en que se dividió el país;
- TAR_i Es la tarifa media en la región i;
- Y_i Es la variable ingreso en la región i.
- ST_i Es el precio del sustituto en la región i
- V_i Son otras variables que influncian el comportamiento del consumo por suscriptor en la región i, según se explicó en párrafos anteriores; y
- CS(-1)_i Es la variable dependiente rezagada un período en la región i. (La inclusión de esta variable indica que los cambios en la variable dependiente se deben en parte a su valor en un período anterior y en parte a fluctuaciones de las variables independientes, esto es, tarifa, ingreso y precio del sustituto).

Es claro que en este tipo de ecuaciones pueden aparecer problemas de simultaneidad, esto es, la tarifa de electricidad incide sobre su demanda, pero dado que ella es diferente para los distintos niveles de consumo puede también ocurrir que la demanda incida sobre la tarifa. Sin embargo, este problema se evita utilizando procedimientos econométricos ampliamente aceptados, que el lector interesado puede consultar en el informe técnico detallado citado en la nota de pie de página 1.

La demanda total de energía del sector residencial depende no sólo del consumo por suscriptor sino, también del número de suscriptores. Por consiguiente, es necesario explicar el comportamiento de esta variable. Para el efecto se utilizan dos ecuaciones. La primera de ellas relaciona el número

de suscriptores con las variables con las variables que lo influncian, a saber la actividad edificadora en el sector urbano y el ingreso. La actividad edificadora se utiliza como una aproximación de la demanda efectiva de nuevas viviendas y, por consiguiente, como el principal determinante del aumento en el número de suscriptores del servicio de electricidad. Por su parte, el ingreso se toma como un indicador del número de suscriptores no asociados a nuevas viviendas. La segunda ecuación del modelo de suscriptores vincula la construcción con sus determinantes.

De esta manera, la ecuación del número de suscriptores en su forma estructural es:

$$SUS_i = a_0 + a_1 CONS_i + a_2 Y_i$$

donde:

- SUS_i Es el número de suscriptores en el sector residencial, según las cuatro regiones en que se dividió el país;
- CONS_i Es la actividad constructora en la región i;
- Y_i Es la variable ingreso en la región i.

A su vez, para explicar la actividad edificadora a nivel nacional se utiliza la siguiente expresión:

$$CONS_i = a_0 - a_1 ICO + a_2 POB + a_3 Y$$

donde:

- CONS_i Es la construcción (variable dependiente);
- ICO Es el índice de precios de la construcción;
- POB Es la población;
- Y Es el ingreso per cápita.

Al integrar estas dos ecuaciones es posible conocer la incidencia de los elementos poblacional, de ingreso y de precio sobre el número de suscriptores de electricidad.

B. Sector eléctrico no residencial

Se definieron dos sistemas de ecuaciones para explicar la demanda de energía no residencial (que comprende los usos para fines industriales, comerciales, oficial y alumbrado público). El primer sistema de ecuaciones define el consumo de electricidad por cada millón de pesos de producción (producción industrial y comercial para cada subsector). El segundo sistema de ecuaciones se refiere a las funciones de demanda de las producciones industrial y comercial.

La ecuación de consumo de electricidad en su forma estructural es:

$$\text{CPRO} = a_0 - a_1 \text{TK} + a_2 \text{VT}$$

donde:

- CPRO** Es el consumo de electricidad por millón de pesos de producción;
- TK** Es la relación entre tarifa eléctrica e índice de precios de maquinaria eléctrica;
- VT** Es la relación entre valor agregado del sector industrial y el número de trabajadores allí empleados, con el fin de captar los cambios tecnológicos y de productividad.

Habida cuenta que la inmensa mayoría de la electricidad utilizada en el sector industrial se aplica para fines de fuerza motriz y para otras actividades en las que no puede ser sustituida por otra fuente de energía más económica (Ministerio de Minas, s.f.), la ecuación no incluye un sustituto explícitamente. Sin embargo, de forma consistente con la teoría del consumidor y del productor, el sector productivo considera la autogeneración de electricidad como un medio sustituto de proveerse ese recurso energético cuando la tarifa eléctrica es tan alta que justifica económicamente esa autogeneración (Ferguson, 1966, Caps. 3 y 4). El elemento principal que debe tenerse en cuenta para estimar los costos de autogeneración y compararlos con la tarifa eléc-

trica es el precio de la maquinaria eléctrica útil para alcanzar tal propósito y el volumen de electricidad a autogenerar⁴. De este modo, el valor relativo de la tarifa eléctrica Vs. el precio de los bienes de capital se relaciona inversamente con el consumo de electricidad: si la tarifa eléctrica sube en relación con el precio de los bienes de capital en el sector habrá una disminución en el consumo de electricidad comprado a las empresas eléctricas, no sólo por la ley básica de la teoría del consumidor según la cual los consumos tienden a relacionarse inversamente con los movimientos en su precio, sino también porque al aumentar la relación mencionada aparecen como rentables nuevos proyectos de autogeneración, con lo cual se refuerza el movimiento inicial de disminuir las compras de electricidad. Incluso pueden aparecer fuerzas que conduzcan a la reducción unilateral de la tarifa como es el robo de electricidad que ocasiona el conocido fenómeno de las pérdidas negras.

La otra variable explicatoria del consumo de electricidad por millón de pesos de producción es un indicador de productividad, cual es la relación entre valor agregado y personal ocupado. Un aumento de esta relación se asocia comúnmente a un cambio tecnológico en el sentido de aumentos relativos de capital en la función de producción (Intriligator, 1978, Cap. 8). A su turno, una mayor dotación de capital implica un mayor consumo de energía, en particular electricidad.

Dado que la información para el cálculo de la relación entre valor agregado y personal ocupado se encuentra disponible para el sector industrial pero no para el comercial, en este último sector se incluyó una variable indicativa de ese proceso de cambio tec-

⁴ Es del caso señalar que la autogeneración es viable principalmente en el sector industrial, dado que sus niveles de consumo de electricidad son en ocasiones relativamente altos y muy superiores a los existentes en el sector comercial. Por eso, en la formulación de la ecuación del sector comercial se incluye sólo la tarifa y no la relación entre ella y el precio de bienes de capital.

nológico⁵, tal como se explica en la parte de resultados.

Para el sector oficial y alumbrado público, se sugiere una sencilla ecuación que relacione el consumo de electricidad en esos sectores con el ingreso nacional. La forma como evolucione esta variable dictará en buena medida la posibilidad de extender o ampliar la red de iluminación pública.

Por último, el modelo comprende dos ecuaciones de producción. Una referida al sector industrial y la otra al sector comercial. De este modo las funciones de demanda de los diferentes energéticos en los sectores industrial y comercial se plantean como resultado de integrar unas ecuaciones de consumo por millón de pesos de producción con la función de producción.

La función de producción puesta en su forma estructural es de la siguiente manera:

$$PROD = a_0 + a_1 T + a_2 E + a_3 (MA) + a_4 (AR)$$

donde:

- PROD Es la producción industrial a nivel nacional;
- T Son los términos de intercambio;
- E Es el índice de la tasa de cambio;
- (MA) y (AR) Son los elementos autoregresivos de la ecuación. Su inclusión refleja el comportamiento inercial y cíclico de la producción industrial que es independiente de las fluctuaciones contemporáneas de las otras dos variables independientes.

La función de producción para el sector comercio es muy sencilla y simplemente rela-

ciona la producción comercial con el ingreso nacional.

Antes de pasar a mostrar los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones anteriores, es conveniente señalar las principales diferencias de nuestro modelo con los desarrollados por el ENE y otros similares (como los de Econometría e ISA). Respecto al número de suscriptores, el ENE planteó una ecuación con variables poblacionales que proyectaban el número de viviendas con base en estimaciones sobre población y tamaño del hogar. Este enfoque tiene la enorme virtud de ser muy sencillo y directo, con la ventaja de que puede captar la reducción en la tasa de crecimiento de suscriptores resultante del menor crecimiento poblacional. Sin embargo, el número de viviendas definidas de esta forma es un indicador de *necesidades*, pero en ningún caso representa su edificación efectiva. En efecto, el acervo de viviendas existentes y la adición de nuevas unidades no depende sólo de variables demográficas sino también de factores económicos, como son la disponibilidad de crédito de largo plazo, y los cambios en el ingreso. Además, existe una demanda de nuevos suscriptores que no están asociados a la construcción de nuevas viviendas y que resulta de los programas de mayor cubrimiento del servicio de electricidad y de aumentos en el ingreso.

En vista de lo anterior, en este trabajo se utiliza un modelo que permite captar las fluctuaciones de la actividad económica y de las tendencias poblacionales sobre el número de suscriptores y de ahí sobre el consumo de electricidad, según hemos visto. La implicación fundamental de este modelo es que con él se estima un crecimiento en el número de suscriptores más bajo (alto) que cuando se emplee el del ENE en un contexto de tasas de crecimiento negativas (positivas) del producto per cápita.

Al vincular la ecuación de construcción a nivel nacional con las regionales sobre el número de suscriptores es posible entonces estimar la incidencia de variables de población, ingreso y otras sobre el número de abonados del servicio de electricidad. La

⁵ Para una justificación de este procedimiento véase Intriligator, 1978, pp. 289-292.

desventaja de este avance metodológico es la de aplicar indicadores de población nacional a nivel regional. No obstante, esta desventaja no afecta las conclusiones globales, como se verá más adelante.

En lo que hace relación a las ecuaciones de consumo por suscriptor también hay modificaciones importantes. En primer lugar, se incorpora a las funciones de demanda la influencia de los sustitutos a la electricidad en las distintas regiones del país, cosa que no hacían los trabajos anteriores. Como resultado, dos de las cuatro ecuaciones aquí elaboradas incluyen sustitutos que no aparecían en las ecuaciones iniciales del ENE. Esta modificación eleva las elasticidades-precio en relación con las estimadas en el ENE, según se deduce de los elementos teóricos presentados arriba. De otra parte, las ecuaciones sobre consumo por suscriptor planteadas en este estudio hacen posible eliminar los sesgos de simultaneidad originados primordialmente en la progresividad tarifaria según niveles de consumo.

El efecto neto de las modificaciones metodológicas sugeridas en los modelos aquí presentados es un problema empírico. Así, si el ingreso per cápita y la tarifa de electricidad tienen tasas de crecimientos positivas, las proyecciones con este modelo pueden ser más altas o más bajas que las que resultan de utilizar los del ENE, dependiendo de los valores de las elasticidades-ingreso y precio y de los escenarios de proyección que se adopten para estas variables. Dados los resultados de las ecuaciones y los escenarios de proyección más probables, en la Sección IV mostraremos que el modelo del ENE conduce a subestimaciones de la demanda de electricidad. Sin embargo, como ya se indicó estas subestimaciones fueron más que neutralizadas por sobreestimaciones en las tasas de crecimiento del ingreso y la producción industrial que, según el ENE, serían respectivamente de 5.40% y 7.60% para el período 1980-2000, en contraste con las tasas de 2.09% y 4.05%, respectivamente, registradas en el período 1980-1987.

Por último, en relación con la función de demanda de energía para el sector industrial, en este estudio se avanza en relación con el ENE al incorporarse el impacto de cambios tecnológicos y concretamente del proceso de industrialización y mecanización sobre los consumos de energía.

Debe resaltarse que el avance en el estudio de los aspectos relativos a la sustitución entre energéticos fue posible gracias a que en los últimos años los precios han estado reflejando mejor que antes las diferencias en el valor de oportunidad de los distintos energéticos, de forma que los consumidores han estado remplazando electricidad de alto precio por sustitutos con costos más bajos como el gas propano.

III. RESULTADOS DE LAS ESTIMACIONES

El modelo teórico presentado en la sección anterior consta de un sistema de 14 ecuaciones: 9 para el sector residencial; 3 para los sectores industrial, comercial, oficial y alumbrado público; 1 para producción industrial y 1 para la producción comercial. Las ecuaciones se estimaron en dos niveles de desagregación, las del sector residencial a nivel regional y las de los sectores industrial, comercial, oficial y alumbrado público a nivel nacional⁶.

Los principales resultados de las estimaciones se presentan en el Cuadro 1. Todos los coeficientes obtenidos tienen los signos esperados teóricamente, con niveles de significancia superiores al 95%.

En relación con las elasticidades-precio (dos primeras columnas del Cuadro) los resultados demuestran que, en general, las elasticidades son mayores cuando más perfecta es la disponibilidad de sustitutos. Así, en las ecuaciones del consumo de electricidad por suscriptor (sector residencial) se

⁶ Las formas funcionales y los métodos de estimación utilizados pueden consultarse en el informe técnico a que hace referencia la nota de pie 1.

CUADRO 1
ELASTICIDADES DE LAS FUNCIONES DE DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA

VARIABLES INDEPENDIENTES (EXOGENAS)

Variables endógenas	Precio de energía		Precio sustituto		Ingreso	Desempleo	Población	Relación entre tarifa eléctrica y precio de bienes capital	Variables cambio tecnológico	
									Valor Agregado	Número Trabajad.
CS1	-1.6	-1.2	0.4	0.4	0.6	0.4	—	—	—	—
CS2	-0.16				0.35		—	—	—	—
CS3	-0.42		0.23		0.42	-0.16	—	—	—	—
CS4	-0.56		0.09		0.37	-0.18	—	—	—	—
SUS1 ¹	—	—	—	—	0.05 ²	—	0.28 ²	—	—	—
SUS2 ¹	—	—	—	—	0.38	—	0.95	—	—	—
SUS3 ¹	—	—	—	—	0.50	—	0.97	—	—	—
SUS4 ¹	—	—	—	—	0.26 ³	—	0.72 ³	—	—	—
CPRO	-0.34							-0.34	0.79	—
CPRE	-0.28							—	—	0.33

SIMBOLOGIA:

CSi Consumo de electricidad por suscriptor en las regiones 1 (norte), 2 (noroeste), 3 (suroeste) y 4 (central).

SUSi Número de suscriptores en cada una de las cuatro (4) regiones.

CPRO Consumo de electricidad industrial por millón de pesos de producción industrial.

CPRE Consumo de electricidad por millón de pesos de producción industrial (sector comercio).

- Los coeficientes de elasticidad-ingreso son un dato aproximado que resulta de multiplicar (teoría de la cadena) o adicionar elasticidades en el modelo que compone el número de suscriptores.
- Como se indicó en la parte teórica y de resultados, buena parte del valor de estas elasticidades está recogida en este caso por el coeficiente de la variable tendencia que es de 0.89.
- El coeficiente algo más bajo que en las regiones suroccidental y noroeste, es recogido por el elemento autónomo de la ecuación que es más alto para la región central que para las otras dos.

NOTA: Todas las elasticidades presentadas son significativas al 95% de significancia.

observa que la elasticidad-precio más alta se da en el caso de la región norte, donde el sector de hogares puede remplazar la electricidad por gas natural o gas propano. En el extremo opuesto está la región noroeste con la elasticidad precio más baja, debido en buena parte a la ausencia total de sustituto para los usuarios del servicio en esa zona del país. En el medio están las elasticidades-precio de las regiones suroccidental y central. El valor de los coeficientes de la elasticidad del sustituto es también consistente con lo esperado, en el sentido de que el valor más alto se encuentra en la región norte y el más bajo en la región central, donde se tiene que el gas propano ni es un

sustituto perfecto de la electricidad ni la confiabilidad de su suministro es alta.

Llama la atención la alta elasticidad-precio obtenida para la región norte. Por eso, se estimaron dos ecuaciones en ese caso. En la primera la variable dependiente rezagada se incluye como variable explicativa. Como ello dio origen a problemas de colinealidad se estimó otra ecuación excluyendo la variable dependiente rezagada y examinando más bien los rezagos con que operaba el ajuste a través de un polinomio de rezagos distribuidos. En este caso se observó que el coeficiente de la elasticidad-precio era un poco más bajo que el anterior, pero aun li-

geramente mayor que la unidad. Pueden existir dos razones para este resultado. Por un lado, que debido a la lentitud del proceso reciente de sustitución, aún no queda adecuadamente captado en la estimación. De otra parte, esto parece deberse a que el aumento de las pérdidas negras como proporción de la generación total de electricidad corresponde en mayor proporción al sector residencial que al industrial. Esto sugiere que la alta elasticidad-precio en la función de demanda por electricidad responde no sólo a la existencia de un buen sustituto sino también al robo de electricidad que contribuye a reducir los consumos facturados (o a que decrezca la tasa de aumento de ellos), aunque se encontró que este efecto es marginal.

Los resultados respecto al número de suscriptores también son consistentes con la teoría expuesta en la sección anterior. En efecto, se concluye que el número de suscriptores depende de los cambios de la variable poblacional (con elasticidades cercanas a 1, en promedio) así como de la evolución en el ingreso (con elasticidades cercanas a 0.40 en promedio)⁷. A pesar de este primer resultado, la variable ingreso puede tener un impacto más alto sobre el número de suscriptores que la población, debido a que parte de su efecto se capta indirectamente a través del elemento autónomo de la ecuación de construcción y del número de suscriptores, como se mencionó en la sección anterior. El orden de magnitud de este elemento autónomo es grande, ya que por sí sólo explica el 50% de cambios en la construcción y de ahí entre un 30% y un 40% de las variaciones en el número de suscriptores (véanse las ecuaciones respectivas).

Dado el papel de la elasticidad-ingreso en el modelo de número de suscriptores, su aplicación conduce entonces a estimaciones del consumo de electricidad más bajos (altos)

⁷ El crecimiento del número de suscriptores también depende de variables estructurales y culturales mencionadas en la sección anterior, las cuales se recogen en el elemento autónomo de la ecuación.

que cuando el modelo sólo incluye variables poblacionales —caso del ENE— en un contexto de evolución de tasas de crecimiento negativo (positivo) del ingreso per cápita.

Debe notarse que el efecto de la disminución en la tasa de crecimiento de la población sobre el número de suscriptores que ha venido operando en el pasado será aproximadamente el mismo en los próximos 15 ó 20 años. En efecto, al disminuir la tasa de crecimiento de la población operan dos efectos en el mismo sentido sobre la actividad constructora: el primero de corto y mediano plazo se manifiesta en una reducción del tamaño del hogar y de ahí el de la vivienda, proceso éste que se ha manifestado ya en casi toda su magnitud, sobre todo en el interior del país. En segundo lugar, opera otra fuerza de largo plazo, de disminución en la expansión de la actividad constructora por efecto directo de la disminución en el número de nuevos hogares.

Los resultados en los sectores industrial y comercial son también consistentes con los valores esperados: la elasticidad-precio se acerca a -0.30 , lo cual indica que los aumentos tarifarios han conducido a un uso más racional de la electricidad y que las elasticidades encontradas serían algo más bajas si no se hubiera propagado el fenómeno de las pérdidas negras: ellas aumentaron de aproximadamente 90% en los primeros años de la década pasada a aproximadamente 18% en la actualidad. Por su parte, la elasticidad-ingreso es igual a la unidad por construcción del modelo. Sin embargo, cabe señalar que se ensayó el valor de esta elasticidad cuando se incluía la variable producción como una de las independientes y se encontró que resultaba, efectivamente, muy cercana a la unidad.

La ecuación de pérdidas negras muestra que su aumento entre 1974 y 1986 como proporción de la generación total de electricidad se debió aproximadamente en un 60% a pérdidas en el sector residencial y a un 40% a pérdidas en el sector industrial. El fenómeno se puede atribuir en un

alto porcentaje al excesivo incremento tarifario que ocurrió particularmente en los sectores industrial y comercial (del orden de 6% a 8% anual).

Para terminar los comentarios sobre las elasticidades estimadas en este trabajo es interesante anotar que los valores encontrados corresponden aproximadamente a los que distintos autores han obtenido para otros países. En efecto, para el caso de Estados Unidos e Inglaterra, donde la electricidad tiene un buen sustituto en el sector residencial, la elasticidad-precio se sitúa entre -0.95 y -1.43 y la elasticidad-ingreso es aproximadamente de 0.70 (Taylor, 1975; Griffin, 1976; Pérez y Acosta, 1987). Estos valores corresponden en forma muy cercana a los obtenidos en este trabajo para la región norte, donde existen unas condiciones semejantes en materia de sustitutos. Las estimaciones efectuadas para países latinoamericanos muestran una elasticidad-precio de largo plazo de aproximadamente -0.50 y una elasticidad-ingreso de largo plazo que fluctúa entre 0.20 y 0.60 , resultados estos muy cercanos a los obtenidos en este trabajo para las regiones suroccidental y central (Pérez y Acosta, 1987)⁸.

Los resultados de estimaciones internacionales en materia de elasticidades-precio para el sector industrial muestran amplias divergencias de cálculo que oscilan entre -0.06 y -1.9 para Estados Unidos e Inglaterra y entre -0.24 y -0.34 para América Latina (Pérez y Acosta, 1987). En este trabajo se encontró el valor de -0.34 para esta elasticidad.

IV. UNA COMPARACION DE LAS PROYECCIONES DE DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA SEGUN LOS DISTINTOS ESTUDIOS

Una vez ajustadas las ecuaciones de comportamiento de consumo para los subsec-

tores de electricidad es posible definir escenarios alternativos de proyección con el propósito de estimar el curso futuro de la demanda y analizar sus posibilidades de sustitución con otras fuentes de energía.

Los resultados encontrados en relación con los coeficientes de las ecuaciones muestran que en la definición de un escenario básico de proyección es crítica la estimación de las tendencias más probables del ingreso nacional, producción industrial, población y precios de la electricidad y gas. En los ejercicios que siguen el ingreso, la producción industrial y la población se proyectan con base en algunas estimaciones adelantadas por el Departamento Nacional de Planeación. De acuerdo con esta fuente la tasa de crecimiento del PIB para los próximos años puede oscilar entre 4% y 5% y el aumento poblacional entre 1.5% y 1.7% .

En relación con el precio de la electricidad, es ampliamente aceptado que su precio medio, sobre todo en el sector residencial, está muy por debajo de su valor de oportunidad⁹. De otra parte la política actual de dotar de gas natural a la región central del país y de gas propano a las restantes zonas del interior con valores de oportunidad mucho más bajo que los de la energía eléctrica hará posible ir reduciendo los subsidios vigentes actualmente para este energético. Por consiguiente, mantiene validez la conclusión del Estudio Nacional de Energía en el sentido de que las tarifas de la electricidad deben continuar creciendo en términos reales. La elección de los escenarios de proyección para las distintas regiones se hizo teniendo en cuenta los factores mencionados atrás dentro del marco de las normas que rigen en la actualidad la política tarifaria¹⁰. Por último, el precio del gas propano debe elevarse todavía en algún grado

⁸ Adviértase que la elasticidad-ingreso calculada en otros trabajos debe compararse con la suma de la elasticidad-ingreso y la elasticidad-desempleo obtenidas en este estudio.

⁹ Según estimaciones de "ISA", la tarifa media en los sectores residencial e industrial se aproxima a los \$6.00 y \$16.00, mientras que el costo de oportunidad se eleva a casi \$20.00. Véase también Departamento Nacional de Planeación, *et. al.*, 1987, Cap. IV.

¹⁰ Resolución 086 de 1986 de la Junta Nacional de Tarifas.

CUADRO 2
PROYECCION DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA (GW/H)

Año	Sector Residencial	Sector Industrial	Sector Comercial	Sector Alumb. Publ.	Ventas	TOTAL Generación
1985	9327	6159	2112	1833	19432	26188
1995	17987	13272	3890	3345	38495	51880
2000	25118	15758	8477	4590	50344	67848

Fuente: A partir de los resultados económicos resumidos en el Cuadro 1. Para mayores detalles véase el informe técnico referido en la nota de pie 1.

con el fin de alcanzar su valor de oportunidad (Departamento Nacional de Planeación *et. al.*, 1987, Cap. V.).

En resumen, para fines de proyección pueden suponerse crecimientos del 4, 2, 4.3 y 1.5%, respectivamente, para el ingreso, el ingreso per cápita, la producción industrial y la población. En relación con las tarifas, se presumen aumentos en el sector residencial de 0% y 2.25% para las regiones norte e interior del país respectivamente, así como un aumento de 0.5% en el precio del sustituto y de 2% en el precio de la electricidad en los sectores industrial y comercial. A partir de estos supuestos, con base en las estimaciones de la sección anterior, se llega a una proyección de crecimiento del consumo de energía eléctrica de 6.5% para el período 1986-2005 (véase la distribución del consumo en el Cuadro 2)¹¹.

De otro lado, si se aplican los supuestos del ENE a los modelos presentados aquí se llegaría a una tasa de crecimiento anual en el consumo de 8.6% para el mismo período, mientras que la estimación con los mo-

delos del ENE fue 7.9% anual (Departamento Nacional de Planeación, 1982, pág. 216), de acuerdo con los resultados que se presentan en el Cuadro 3¹².

Estos resultados concuerdan con los aspectos teóricos y metodológicos expuestos en las secciones anteriores de este artículo. Al emplear los modelos presentados en este trabajo se llega a proyecciones de consumo de electricidad más altas que las del ENE por dos razones principales, ya mencionadas, que conviene reiterar. Primero, por la inclusión de la variable ingreso en el modelo de número de suscriptores residencial, habida cuenta que se estima un crecimiento positivo del ingreso per cápita¹³, (la estimación es de 8.2% según el modelo presentado aquí y de 7.7% según el ENE¹⁴. Se-

¹² Los supuestos básicos de proyección del ENE para el período 1986-2000 fueron: crecimientos anuales de 5.4, 7.6 y 1.7% respectivamente para el ingreso, la producción industrial y la población; tarifas eléctricas constantes para la región norte y crecientes 1.5% anual para el interior del país, y aumento en el precio del sustituto de 1.6, 1.8 y 1.6% para las regiones norte, suroccidental y central, respectivamente.

¹³ Nótese que esta discrepancia está calculada después de tener en cuenta que la elasticidad-precio en este modelo es mucho más alta que el del ENE.

¹⁴ La suma de las elasticidades-ingreso y de población en el modelo de número de suscriptores presentado aquí es más alta que la de población en el modelo del ENE.

¹¹ Este resultado está en concordancia con las estimaciones de la Agencia Internacional de Energía Atómica de las Naciones Unidas, según información del 5 de septiembre del presente año. De acuerdo con esta fuente, el crecimiento de la demanda de electricidad en Latinoamérica estará entre 5.8% y 7.1% para el período de 1987-2000.

CUADRO 3
PROYECCIONES COMPARADAS DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA (GW/H)

Años	Sector Residencial		Sector Industrial		Sector Comercial		Sector Alumb. Publ.		TOTAL	
	ENE	PNUD	ENE	PNUD	ENE	PNUD	ENE	PNUD	Ventas	Generación
1985	9914	9327	8776	6159	2829	2112	1784	1833	19432	26189
1995	21477	19779	19623	18732	5648	4116	3484	3813	46442	62589
2000	30118	28446	29839	27104	7924	5641	4830	5499	66692	89881

Fuente: Proyecciones del ENE según Departamento Nacional de Planeación (1982). Los supuestos básicos se resumen en la nota de pie número 12. Proyecciones PNUD según se explica en el texto.

gundo, porque la proyección del consumo en el sector industrial es más alta según este modelo (9.9%/o) que si se emplea la del ENE (8.5%/o), porque aquí se recoge el efecto sobre el consumo del proceso de industrialización (los consumos en los sectores residencial e industrial representan aproximadamente un 50%/o y un 30%/o del consumo total de electricidad respectivamente).

Cabe anotar que las subestimaciones en las proyecciones del consumo de electricidad por parte de los modelos del ENE no condujeron a una situación de excedentes de demanda de electricidad, porque, como ya se señaló, se utilizaron escenarios muy optimistas en materia de crecimiento de la economía y del sector industrial. De este modo, la subestimación a la que conducen en principio los modelos del ENE fue más que neutralizado por el efecto depresivo sobre el consumo proveniente de la recesión económica que tuvo lugar durante los primeros años de esta década.

No obstante lo anterior, la recesión económica y el sobredimensionamiento temporal del sector ya son cosa del pasado, que no deben incidir sobre la estrategia de planeamiento del sector. En la actualidad es preciso tomar decisiones para evitar que se llegue a una situación de estrechez de producción entre 1990 y 1993, hasta el momento en que entre en operación el nuevo proyecto del Guavio. Si se mantiene la idea

vigente en los últimos dos años, según la cual el crecimiento de demanda no supera el 5.8%/o anual, se llegará a una situación de insuficiencia de generación de electricidad.

Los planes de inversión deben estar determinados por tendencias de largo plazo de las distintas variables que influyen el consumo de electricidad, teniéndose presente que "no obstante que el consumo de energía es una pequeña fracción del valor agregado de la producción de la mayoría de bienes, la carencia de ella se manifiesta en períodos cortos en una reducción de la producción" (Sarmiento, 1986, pág. 55). Del informe sobre costos de racionamiento publicado recientemente por ISA (y suponiendo un costo de US\$2.000 por kilovatio instalado) se concluye que los costos de racionamiento originados en deficiencia de oferta son diez veces más altos que los de el sobredimensionamiento (ISA, 1986). Por eso, sin desconocer los enormes esfuerzos financieros y macroeconómicos que exige sostener un plan de expansión consistente con un crecimiento de largo plazo en la demanda del orden de 6.5%/o anual, es crucial tener en cuenta las implicaciones de un eventual racionamiento. Las consideraciones sobre generación de empleo de mano de obra y crecimiento económico muestran que son muy elevados los costos de reducir los abastecimientos de fluido eléctrico a los sectores productivos.

Sin embargo, los resultados de este trabajo indican que para prevenir este tipo de si-

tuaciones es posible moderar el crecimiento del consumo de los hogares mediante un manejo adecuado de las tarifas y mediante una mayor difusión de los programas de abastecimiento de gas como sustituto de la electricidad. Esta alternativa hace viable aumentar el precio de la energía eléctrica incluso por encima del 2.5% anual en términos reales sin elevar la cuenta energética global de los hogares, porque el precio y costo de oportunidad de oportunidad del

gas es menos de la mitad que el de la energía eléctrica. Existe pues viabilidad técnica y política para acercar las tarifas eléctricas residenciales al valor de oportunidad de la electricidad y para reducir la tasa de crecimiento de los consumos residenciales sin incentivar el fraude, con el objeto de reducir el crecimiento de la demanda de energía eléctrica que, de otra forma, sería del orden del 6.5% anual.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Departamento Nacional de Planeación, *Estudio Nacional de Energía*, estudio a cargo de Mejía, Millán y Perry, Consultores Unidos y Econometría, 1982.
- Departamento Nacional de Planeación, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Banco Mundial, "Bases para la formulación de una política energética en Colombia", mimeo, 1987.
- FERGUSON, E., *Microeconomic Theory*, Richard D. Irwin, Inc. 1966, 1969 y 1972.
- GRIFFIN, J.M., "The effects of higher prices on electricity consumption", *Bell Journal of Economics*, 1976, 7:2.
- INTRILIGATOR, M.D., *Econometric Models. Techniques and applications*, E. Prentice Hall, 1978.
- ISA, "Costos de racionamiento de energía eléctrica en los sectores industrial, residencial, comercio y servicios", mimeo, Medellín, octubre 1986.
- Ministerio de Minas y Energía, Sistema de Información Energética "SIE", *Encuesta Industrial*, s.f.
- PEREZ, J. y C. Acosta, "Modelos de demanda residencial e industrial de electricidad para Colombia y estimaciones de elasticidades-precio", *Desarrollo y Sociedad*, No. 19, CEDE-Uniandes, 1987.
- SARMIENTO, E., "Sector eléctrico y la financiación del desarrollo", ponencia presentada al Foro sobre el Manejo la Nueva Realidad Energética, Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá, mayo de 1986.
- TAYLOR L.D., "The demand for electricity: A survey", *Bell Journal of Economics*, 1975, 6:1.