

Determinantes del consumo de energía eléctrica residencial de la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, en México

Key factors on household electricity consumption at Metropolitan Monterrey, Mexico

Determinantes do consumo de energia elétrica residencial da Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, no México

Dionicio Morales Ramírez*
José Raúl Luyando Cuevas**
Daniel Flores Curiel***

Recibido: octubre de 2010. Aceptado: junio de 2011

Para citar este artículo: Morales Ramírez, Dionicio; Luyando Cuevas, José Raúl, y Flores Curiel, Daniel (2012). Determinantes del consumo de energía eléctrica residencial de la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, en México. *Universidad & Empresa* No. 22, pp. 79-98.

* Doctorando del Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Av. Lázaro Cárdenas Ote. y Paseo de la Reforma s/n. Campus Mederos, Nuevo León, México. C.P. 65930. Teléfono: (81) 83294237. Correo electrónico: d_m_r_04@yahoo.com.mx.

** Profesor-investigador del Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Av. Lázaro Cárdenas Ote. y Paseo de la Reforma s/n. Campus Mederos, Nuevo León, México. C.P. 65930. Teléfono: (81) 83294237. Correo electrónico: jrlc9@hotmail.com.

*** Profesor-investigador de la Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Av. Lázaro Cárdenas Ote. y Paseo de la Reforma s/n. Campus Mederos, Nuevo León, México. C. P. 65930.

Resumen

El objetivo del trabajo consiste en estudiar la evolución del consumo agregado de energía eléctrica residencial en la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Ello, debido a que dicha metrópoli ha experimentado niveles de consumo muy por encima de la media nacional. En este sentido, la idea principal consiste en cuantificar el impacto generado por el crecimiento de los usuarios, la sensibilidad del consumo ante variaciones en el precio del servicio y de un indicador nacional de la actividad económica como medida proxy del ingreso de la zona ante la ausencia de un indicador regional. Para ello, se estima una función de demanda al estilo Cobb-Douglas, con series de tiempo de 1993 a 2010, en frecuencia mensual, y el enfoque de cointegración de Engel-Granger. Las estimaciones realizadas indican que un incremento porcentual del número de hogares aumenta en 0,61 por ciento el consumo. De la misma forma, un incremento porcentual en el ingreso aumenta en 0,88 por ciento el consumo. Por el contrario, los incrementos en el precio del servicio reducen la demanda en 0,63 por ciento en el largo plazo.

Palabras clave: series de tiempo, consumo de energía eléctrica, cointegración.

Abstract

This work studies the evolution of aggregate consumption of electricity in the Metropolitan Area of Monterrey, Nuevo Leon, Mexico. In particular, we quantify the impact generated by the growth of domestic users on the electricity consumption. Additionally, we estimate the sensitivity of consumption to price changes and the national economic activity indicator as a proxy measure of income of the area in absence of a regional indicator. Our analysis was conducted by a Cobb-Douglas demand function with time series from 1993 to 2010 in a monthly frequency and the Engel-Granger cointegration approach. Estimations indicate that one percentage increase in the number of households increases consumption in 0,61 percent. While price increases, demand services are reduced by 0,63 percent.

Keywords: time series, energy consumption, cointegration.

Classification JEL: C22, Q41, Q43.

Resumo

O objetivo do trabalho consiste em estudar a evolução do consumo agregado de energia elétrica residencial na Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Isto se deve a que dita metrópole tem experimentado níveis de consumo muito por cima da média nacional. Neste sentido, a ideia principal consiste em quantificar o impacto gerado pelo crescimento dos usuários, a sensibilidade do consumo ante variações no preço do serviço e de um indicador nacional da atividade econômica como medida Proxy do ingresso da zona ante a ausência de um indicador regional. Para isso, estima-se uma função de demanda

ao estilo Cobb-Douglas, com séries de tempo de 1993 a 2010, em frequência mensal, e o enfoque de cointegração de Engel-Granger. As estimações realizadas indicam que um incremento percentual do número de lares aumenta em 0,61 por cento do consumo. Da mesma maneira, um incremento percentual no ingresso aumenta em 0,88 por cento o consumo. Pelo contrário, os incrementos no preço do serviço reduzem a demanda em 0,63 por cento no longo prazo.

Palavras chave: séries de tempo, consumo de energia elétrica, cointegração.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un recurso de vital importancia para toda actividad humana. En la producción, es empleada en la mayoría de los procesos, y a las familias, este recurso les permite realizar sus actividades cotidianas en condiciones más cómodas.

La electricidad es un bien que por sus características físicas no puede almacenarse, por lo tanto, para la mayor parte de sus aplicaciones se consume a la par que se produce. Por tal motivo, es de vital importancia identificar sus determinantes, para poder administrarla de forma más eficiente.

En México, la Comisión Federal de Electricidad es la encargada de planear la generación, conducción, transformación, distribución y abastecimiento de la energía eléctrica para la prestación del servicio público. Dicha comisión ha establecido nueve regiones, las cuales integran el Sector Eléctrico Nacional (SEN).¹ Sin embargo, para el análisis estadístico se identifican cinco regiones que integran el mercado nacional —

Noroeste, Noreste, Centro, Centro-Occidente y Sur-Sureste—. En este sentido, la región Noreste ocupa el primer puesto en magnitud de ventas, con 44 198 Gwh,² lo cual representa un 24,2 por ciento del total nacional, seguido del Centro, con 43 131 Gwh en 2009.³ Por su parte, el Estado de Nuevo León, lugar en donde se ubica la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), ocupó el primer lugar en consumo de electricidad con 16019655,49 Mwh, lo que representa el 8,6 por ciento del total nacional, seguido del Estado de México, con un 8,3 por ciento en 2011. Lo anterior pone de manifiesto la importancia que tiene el Estado de Nuevo León y su Zona Metropolitana dentro de la planeación para el abastecimiento de su demanda creciente.

En este sentido, el objetivo de este trabajo consiste en estimar los diferentes efectos que tienen sobre el consumo residencial variables como el precio, el ingreso, el número de hogares y los efectos estacionales —climatológicos— para entender la dinámica de crecimiento del sector y predecir los posibles

¹ Baja California, Baja California Sur, Noroeste, Norte, Noreste, Occidental, Central, Oriental y Peninsular.

² El watt hora (Wh) o vatio hora, es una unidad de energía. De esta forma, el Quilowatt-hora (kWh) equivale a 1000 Wh, el Megawatt-hora (MWh) equivale a 1 000 000 Wh y el Gigawatt-hora (GWh) equivale a 10⁹ Wh.

³ Datos encontrados dentro de la Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025.

cambios en el futuro. Para ello, se emplearon series de tiempo de 1993 a 2010, en frecuencia mensual sin desestacionalizar, y el enfoque de cointegración de Engel-Granger. Las estimaciones realizadas muestran que el precio de la energía y los hogares sirven para explicar las variaciones en el corto plazo y el largo plazo, mientras que el ingreso solo es relevante para explicar variaciones sobre el consumo de electricidad en el largo plazo.

Vale la pena comentar que el estudio de la demanda de energía eléctrica a escala regional o de zonas metropolitanas ha sido poco estudiado, principalmente porque el SEN se encuentra interconectado, y en un momento dado el déficit de energía en los que pueda incurrir una región pueden ser importados de otra. No obstante, su análisis a escala regional es importante, ya que nos permite conocer los impactos locales de las variables de estudio y planear de mejor forma el desarrollo urbano de la región.

El trabajo se divide en cinco partes: en la primera, se describen las características de la ZMM. En la segunda, se hace una revisión de la literatura empírica del tema. En la tercera, se introduce la metodología y los datos empleados.

Los resultados de las estimaciones se presentan en la cuarta parte, y, finalmente, en la última sección se muestran las conclusiones del análisis.

1. ANTECEDENTES DE LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY

El análisis se lleva a cabo sobre la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) en el Estado de Nuevo León, la cual abarca los municipios de Apodaca, García, San Pedro Garza García, General Escobedo, Guadalupe, Juárez, Monterrey, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina. Según el Censo de Población y Vivienda que elabora el INEGI, en el año 2010 el Estado de Nuevo León se encuentra conformado por 4 653 458 habitantes, los cuales integran un total de 1 191 114 hogares y en donde cada hogar cuenta con aproximadamente 3,9 individuos. A simple vista, estos datos no nos indican nada, sin embargo al compararlos con la media nacional, resulta que la tasa de crecimiento de la población del Estado es mayor, en tanto que el promedio de individuos que integran un hogar es idéntico al nacional.⁴ Lo anterior nos da una mejor perspectiva de la dinámi-

⁴ Véase el reporte del INEGI dentro de la sección Estadísticas y México en cifras, la tasa de crecimiento de la población del Estado es de 1,9 unidades porcentuales en tanto que la nacional es de 1,4.

ca demográfica de la zona y de los posibles requerimientos o recursos que se tendrán que utilizar para satisfacer el crecimiento de la misma. Un dato importante que vale la pena destacar es que aproximadamente el 88 por ciento de la población se

concentra en la ZMM, por lo tanto, al realizar nuestro análisis sobre el consumo de energía eléctrica domiciliar de la ZMM, estamos estudiando prácticamente el consumo del Estado. En la figura 1 se muestra el área de estudio.

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente: Programa de Acción ante el Cambio Climático para el Estado de Nuevo León.

En lo que se refiere a la actividad económica, el Distrito Federal, el Estado de México, Nuevo León y Jalisco son las entidades que más aportan al Producto Interno Bruto (PIB) nacional y también las que más consumen electricidad. Tan solo en 2010, juntas produjeron el 41,8 por ciento del PIB y demandaron el 30,1 por ciento del consumo

nacional. Nuevo León aportó el 7,7 por ciento del PIB nacional aproximadamente, para situarse así como el tercer Estado más productivo, con 605 245 000,2 miles de pesos, solo por debajo del Distrito Federal y el Estado de México. Respecto al crecimiento económico en 2009, Nuevo León experimentó una caída de 9,2 por ciento y, de la misma

forma, el consumo de electricidad descendió 1,5 por ciento, confirmando la estrecha relación entre ambas variables. En la tabla 1 se presenta el volumen del Producto Interno Bruto a precio de 2003.

Tabla 1. Tasa de crecimiento del PIB por Estado

Periodo	Distrito Federal	México	Nuevo León	Jalisco
2003	1 325 151 577,9	645 873 046,8	521 232 472,7	480 691 227,9
2004	1 368 286 880,3	672 160 727,1	551 686 259,3	497 892 264,5
2005	1 404 695 020,8	705 374 190,6	577 370 290,1	515 934 099,0
2006	1 472 402 931,0	745 798 032,0	619 060 079,4	541 923 125,0
2007	1 517 059 078,8	777 648 980,4	658 001 643,7	563 086 303,4
2008	1 524 067 053,7	791 107 752,9	666 460 037,0	565 269 344,6
2009	1 441 242 189,9	748 317 895,9	605 245 000,2	527 320 038,5
2010	1 502 162 626,7	811 432 265,2	648 513 965,1	553 794 585,5

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI.

Respecto al consumo de electricidad, el Estado de Nuevo León ocupó el primer lugar en consumo energético en 2011, aunque ya desde el año 2000 se veía una tendencia al alza en contraste con las otras regiones. Por su parte, la dinámica poblacional también experimentó un incremento, según el Censo de Población y Vivienda 2010, siendo la región con mayor tasa de crecimiento dentro de los Estados que presentan altos consumos de energía eléctrica. Véase las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Consumo de electricidad por Estado en Mwh

Periodo	Edo. de México	Nuevo León	Distrito Federal	Jalisco
2005	15 441 616,00	13 703 088,00	13 366 503,00	10 049 967,00
2006	15 448 731,00	14 536 307,00	13 376 328,00	10 460 974,00
2007	15 648 714,00	14 719 314,00	13 550 605,00	10 751 228,00
2008	15 556 858,00	15 084 121,00	13 944 579,00	10 954 175,00
2009	15 233 258,39	14 857 775,54	14 036 849,49	11 082 661,30
2010	16 089 553,79	15 512 881,87	13 287 271,68	11 323 237,08
2011	15 489 921,11	16 019 655,49	12 569 091,19	10 992 378,69

Fuente: elaboración propia con datos de la SENER.

Tabla 3. Tasa de crecimiento poblacional por Estado

Periodo	Edo. de México	Nuevo León	Distrito Federal	Jalisco
1960	7,6	4,8	3,6	3,2
1970	4,8	3,0	0,9	2,4
1990	3,0	2,2	0,4	1,8
2000	1,2	1,6	0,2	1,2
2010	1,4	1,9	0,3	1,5

Fuente: datos obtenidos de INEGI.

Los datos anteriores nos dan un panorama de la importancia que tiene Nuevo León, y en consecuencia la ZMM para el desarrollo económico del país. Asimismo, podemos notar cómo los Estados que consumen mayor electricidad también son los que más desarrollados se encuentran en su estructura productiva.

Un indicador que nos ayuda a visualizar la relación entre el consumo de energía y la actividad económica es el índice de productividad de la energía respecto al PIB. Según Bouille (2004), este coeficiente de intensidad energética es variable y, al relacionarlo con el proceso de desarrollo económico de un país, se encuentra que en las primeras etapas del desarrollo la intensidad energética se incrementa debido al uso de tecnologías primitivas, y después se estabiliza y decrece, debido a que la mecanización y la transformación de la estructura productiva ha alcanzado cierto equilibrio.

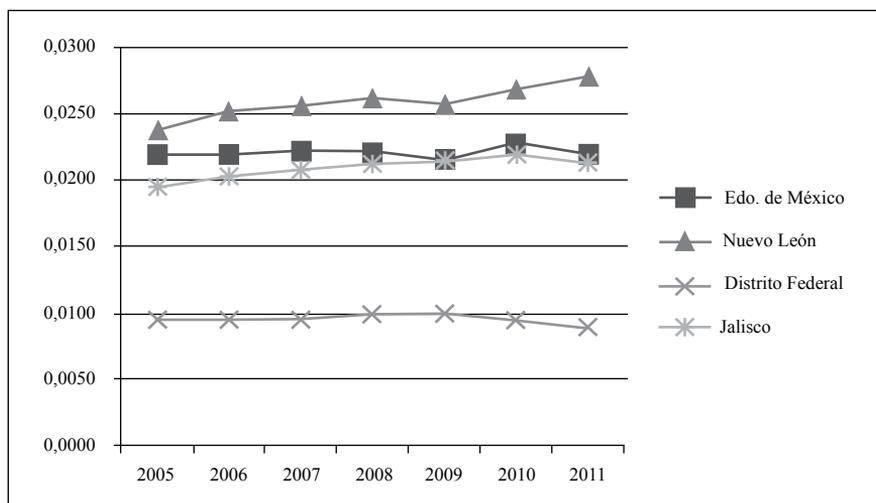
La figura 2 indica que por cada peso producido del PIB, el Estado de Nuevo León consume una cantidad mayor de energía eléctrica. Por lo tanto, podemos decir que dicha entidad es más intensiva en el uso del energético respecto a las otras analizadas. Con esta idea, se puede correr el riesgo de creer que dicha región es la menos eficiente en el uso del energético, sin embargo, debe reconocerse que gran parte de las diferencias entre los consumos es generada por las altas temperaturas de la región.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

A. Evidencia empírica

La demanda de energía eléctrica es un bien o servicio que no puede ser consumido directamente por el consumidor, ya que para emplear dicho bien es necesario hacer uso de equipos que dependan de la energía eléctrica para su servicio. Por esta ra-

Figura 2. Consumo de energía eléctrica por unidad del PIB. Índice de intensidad energética



Fuente: elaboración propia con datos del INEGI, CFE y SENER.

zón, su consumo se encuentra determinado tanto por el diseño técnico de los equipos, así como por su intensidad o frecuencia de uso. En este sentido, los cambios en precio e ingreso pueden tener efectos en el corto y el largo plazo; por ejemplo, si se incrementa el precio del servicio eléctrico domiciliario, en el corto plazo una familia reduciría su consumo usando los aparatos menos tiempo, pero en el largo plazo podría cambiar sus aparatos por unos más ahorradores de energía y seguir usándolos el mismo número de horas que empleaba antes de que les incrementaran las tarifas. Por lo tanto, podríamos decir que la varia-

ción del consumo en el corto plazo se encuentra fija o es poco sensible ante los cambios en precio e ingreso. Encontra parte, en el largo plazo esperaríamos que el consumo fuera más sensible, ya que podríamos sustituir aparatos más ahorradores, o que emplearan otro tipo de energía para su funcionamiento.

La relación anterior ha sido modelada por los econométricos, básicamente de dos formas: 1) modelos que incluyen la variable *stock* directamente, y 2) modelos que la incluyen de manera indirecta y que se denominan “de ajuste parcial”. Algunos trabajos empíricos que esti-

man el consumo usando el enfoque del *stock* son los de Hauthakker (1951) y Fisher y Kaysen (1962). Los primeros elaboran un trabajo sobre el consumo de energía eléctrica en Gran Bretaña, usando datos de corte transversal, y encuentran que la demanda es muy sensible a cambios en precio en ingreso. Los segundos autores comentan que aunque en principio es deseable usar modelos en donde se incluya la variable *stock* de equipos, tanto en el corto como en el largo plazo el problema con la generación de los datos es severa, lo cual genera estimadores imprecisos particularmente para el largo plazo.⁵

El problema para generar datos sobre el stock de equipos contribuyó a la creación de modelos en los que dicha variable fuera incluida indirectamente. Tales modelos son llamados “de ajuste parcial”, y en ellos se asume que el consumo deseado de energía eléctrica domiciliar de largo plazo depende también de un stock deseado de equipos eléctricos. Autores como Chang y Martínez (2003), Hondroyannis (2004), Bernt y Samaniego (1983), entre otros, emplean este enfoque.

Berndt y Samaniego (1983) estiman la demanda de energía eléctrica en México empleando un modelo de ajuste parcial. Los autores comentan que en países en desarrollo es importante incluir en el modelo una variable que capte el acceso de nuevos usuarios. Berndt y Samaniego encuentran una elasticidad precio e ingreso inelástica tanto en el corto como en el largo plazo.

Chang y Martínez (2003) emplean series de tiempo de 1985 a 2000, y el enfoque de cointegración con el modelo de corrección de error (ECM) para estimar los efectos de corto y largo plazo del consumo de energía eléctrica para los tres sectores (residencial, industrial y comercial) en México. La diferencia del modelo empleado por los autores y el ECM comúnmente utilizado en otros trabajos (Hondroyannis, 2004; Athukorala y Wilson, 2010) es que asumen que los parámetros son variantes en el tiempo. Chang y Martínez concluyen que usar esta metodología genera estimadores más pequeños respecto al ECM tradicional y encuentran que la elasticidad ingreso es menor que 1 en los tres sectores, y que

⁵ Véase Berndt (1991). El problema radica en la forma de construir la variable stock.

cuando se emplea esta metodología los precios se vuelven irrelevantes en el largo plazo.

Hondroyiannis (2004) examina los efectos de corto y largo plazo de la demanda residencial de electricidad en Grecia empleando datos mensuales de 1986 a 1999. El autor encuentra que en el largo plazo la demanda es afectada por el precio, el ingreso y las condiciones climatológicas, en tanto que en el corto plazo no reacciona al precio y a las condiciones climáticas.

Dergiades y Tsoulfidis (2008) estiman la demanda residencial de electricidad en Estados Unidos en función del ingreso per cápita, el precio real promedio de la electricidad en centavos por kilovatio-hora, el precio del petróleo, las condiciones climatológicas, y el número de viviendas ocupadas de 1965 a 2006 en frecuencia anual. Los autores emplean un modelo de rezagos distribuidos y cointegración (ARDL); este enfoque es preferido sobre el test de cointegración de Johansen y Juselius, ya que es posible estimar el modelo en presencia de variables de distinto orden, por ejemplo $I(0)$ e $I(1)$.⁶ Las estimaciones indican que la elasticidad-precio de largo

plazo es de 1,06 y la de corto plazo de 0,38; la elasticidad ingreso de largo plazo es de 0,27, y la de corto plazo es de 0,101, en tanto que las condiciones climatológicas de largo y corto plazo son 0,72 y 0,23, respectivamente.

Athukorala y Wilson (2010) estiman los efectos de corto y largo plazo de la demanda residencial por energía eléctrica en Sri Lanka. Emplean un precio promedio real elaborado por ellos mismos, el PIB per cápita real, el precio promedio del queroseno, el gas licuado, y el consumo per cápita de electricidad domiciliar de 1960 al 2007 en frecuencia anual, para lo cual utilizan el enfoque de cointegración y el ECM. Los autores encuentran que el consumo tiene una elasticidad-precio de corto plazo de 0,16, y de largo plazo de 0,62, así como una elasticidad-ingreso de corto plazo de 0,32, y de largo plazo de 0,78.

Otra característica importante de la demanda por electricidad es que su precio comúnmente se encuentra establecido en bloques tarifarios, lo cual genera un importante desvío entre el precio marginal y el precio promedio y, consecuentemente, causar sesgo en las estimaciones al

⁶ Véase el trabajo de Dergiades y Tsoulfidis (2008), quien a su vez lo cita de (Pesaran y Pesaran, 1997).

usar MCO.⁷ Sin embargo, al trabajar con datos agregados, es difícil encontrar o elaborar una variable que capte el precio marginal, por lo que es común que en estudios de series de tiempo con datos agregados se emplee el precio promedio o algún índice de precios.

3. METODOLOGÍA

A. El modelo

La demanda de energía eléctrica puede representarse sencillamente mediante una función de demanda estilo Cobb-Douglas, para describir el consumo residencial de electricidad en la ZMM (Donatos y Mergos, 1991; Silk y Joutz, 1997; Hondroyannis, 2004).

$$Q_t = AY_t^{\beta_1} Pe_t^{\beta_2} Pg_t^{\beta_3} U_t^{\beta_4} e^{E_t} \quad (1)$$

Aplicando logaritmos:

$$\ln Q_t = \alpha_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 \ln Pe_t + \beta_3 \ln Pg_t + \beta_4 \ln U_t + E_t \quad (2)$$

Donde Q_t es el consumo residencial de electricidad en el periodo t , medido en megavatios por hora

(MWH). Y_t es el ingreso medido por el índice de la actividad económica nacional; Pe_t es el precio real de la electricidad medida como un índice; Pg_t es el precio real del gas medido como un índice; U_t es el número de usuarios del servicio, y por último la variable E_t capta el error del modelo.

Estimar la ecuación 2 mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO) nos indica los efectos de largo plazo; sin embargo, para que los resultados no sean espurios, es necesario probar que las variables estén cointegradas.⁸ El procedimiento común para trabajar con series de tiempo puede resumirse en tres pasos: 1) Que las variables sean integradas del mismo orden $I(d)$. Para ello, se emplea la prueba de Dickey Fuller Aumentada (ADF), en donde la hipótesis nula indica la presencia de raíz unitaria. Si la hipótesis nula no se rechaza, la variable tiene raíz unitaria —no estacionaria—, y será necesario diferenciarla hasta eliminar la raíz unitaria o hacerla estacionaria.⁹ 2) Realizar pruebas de cointegración al estilo Engel-Granger sobre el

⁷ Véase Berndt (1991). Si existe el esquema de multi tarifas, el precio promedio depende de las cantidades consumidas y entonces el problema de simultaneidad se hace presente.

⁸ Si existe cointegración, se dice que las variables guardan una relación estable de largo plazo, Véase Gujarati (2004).

⁹ Para diferenciar, se usa $Y_t - Y_{t-1}$, si diferenciamos “d” veces se dice que la variable es de orden “d”.

residuo de la ecuación 2 y encontrar los efectos de largo plazo. 3) Estimar el modelo de corrección de errores (ECM) para encontrar los efectos de corto plazo y la velocidad de ajuste hacia el equilibrio.

B. Fuentes de información y estadísticas básicas

Las ventas de energía eléctrica y el número de usuarios del sector domiciliario del Estado de Nuevo León y la ZMM se obtuvieron de la Secretaria de Energía (SENER) y de la Comisión Federal de Electricidad. El precio de la energía eléctrica y el gas son índices de precios reales tomados del Banco de Méxi-

co. Ante la falta del PIB estatal en frecuencia mensual, se optó por utilizar el índice nacional de la actividad económica nacional como medida aproximada del ingreso.¹⁰

El consumo promedio de energía eléctrica domiciliaria en la ZMM es 192 393,7 Mwh, en tanto que el promedio per cápita diario es de 7,535 kwh. El número de usuarios promedio es de 821 081,9 hogares, en donde cada hogar cuenta con aproximadamente 3,9 individuos.¹¹ Por último, se encontró que la temperatura promedio máxima registrada en el período de análisis es de 46 grados centígrados en el mes de mayo. Véase la tabla 4.

Tabla 4. Estadísticas básicas

	Consumo Mwh	Consumo KWH/ per cápita	Usuarios
Media	192 393,7	7,535	821 081,9
Máximo	392 894	12,12	1 209 103
Mínimo	96 300	5,07	562 598
Desviación Estándar	0,774	1,6	176143,1
Observaciones	211	211	211

¹⁰ La idea de introducir esta variable fue básicamente porque los pocos datos del PIB estatal se mueven en la misma dirección del PIB nacional y, por lo tanto, nos podría a ayudar a captar algunos efectos. Pero se reconoce que la carencia de datos a este nivel es una limitante importante y que, por lo tanto, se debe de trabajar en algún indicador que capte de mejor forma la evolución del ingreso.

¹¹ Esta variable capta los incrementos en la población y por cada usuario en promedio representa 3,23 habitantes.

4. ESTIMACIONES

En esta parte, se presentan los resultados de aplicar las diversas pruebas, así como el modelo descrito anteriormente.

A. Pruebas de raíz unitaria

Se aplicó la prueba Dickey Fuller Aumentada (ADF) para probar estacionariedad en las variables de estudio. Recordemos que un supuesto clásico del modelo de regresión lineal nos dice que las varia-

bles deben ser estacionarias —no tener raíz unitaria— para evitar problemas de regresión espuria. En la tabla 5 se presentan las pruebas de raíz unitaria.

Los resultados de la tabla nos indican que el consumo medido en megavatios por hora, el índice real del precio de la electricidad y el gas, así como el ingreso y el número de usuarios son no estacionarios en niveles; esto se debe a que la hipótesis nula de raíz unitaria no se rechaza.

Tabla 5. Pruebas de raíz unitaria

Variables	Datos a nivel			Primeras diferencias			Orden de Integración
	Constante	Constante y tendencia	Ninguna	Constante	Constante y tendencia	Ninguna	
Consumo electricidad	-0,0065	-2,469	3,189	-7,803*	-13,025*	-6,907*	I(1)
Precio electricidad	-1,746	-2,069	-0,117	-16,949*	-16,906*	-16,988*	I(1)
Precio gas	-2,223	-3,798*	-0,221	-12,658*	-12,682*	-12,680*	I(1)
Ingreso (IGAE)	-1,626	-3,227**	1,164	-3,154*	-3,176**	-2,846*	I(1)
Usuarios	2,587	-0,660	5,532	-12,839*	-13,400*	-15,221*	I(1)

* Estadísticamente significativas al 5% de confianza, según los valores de MacKinnon. Entonces, se rechaza la hipótesis nula por lo que la variable es estacionaria.

** Estadísticamente significativas al 10% de confianza. Entonces, se rechaza la hipótesis nula por lo que la variable es estacionaria.

B. Cointegración de Engel-Granger

Cuando las variables son no estacionarias, debemos transformarlas tomando las primeras diferencias

para determinar el orden de integración y poder aplicar el enfoque de cointegración. Una vez identificado que el orden de las variables económicas es el mismo I(1), estimamos mediante MCO la

ecuación 2, de donde se obtiene el residuo y se le aplica la prueba ADF. La idea aquí es encontrar un residuo estacionario $I(0)$. Si esto sucede, podemos decir que las variables están cointegradas y podremos aplicar la metodología del modelo de corrección de errores. El resultado de la ecuación 2 se ve en la tabla 6.

Tabla 6. Estimación del modelo en logaritmos mediante MCO

Variable	Coefficiente	Error Estándar
Constante	-1,624**	0,926
Precio Electricidad	-0,630*	0,078
Precio Gas	-0,080	0,108
Ingreso	0,887*	0,268
Usuarios	0,618*	0,204
R-cuadrada	0,643	
Durbin-Watson	0,686	

* Estadísticamente significativas al 5% de confianza.

** Estadísticamente significativas al 10% de confianza.

El valor bajo de la prueba Durbin-Watson nos hace pensar que el modelo puede ser espurio. Para descartar esta posibilidad, se aplicó la prueba de ADF sobre el residuo.¹²

La prueba “t” basada en los valores de MacKinnon nos indica que la hipótesis nula de raíz unitaria se rechaza al 5% de confianza y por lo tanto, el residuo es estacionario o cointegrado.¹³ Véase la tabla 7.

Tabla 7. Prueba ADF sobre el residuo de la regresión de cointegración

Estadístico	Ninguna
ADF	-2.137*

* Estadísticamente significativas al 5% de confianza, según valores de MacKinnon.

C. Corrección de error

En la siguiente etapa de la metodología, se estima el modelo de corrección de errores (ECM) para captar los efectos de corto plazo; asimismo, se incluyen variables ficticias para estimar los efectos estacionales. El modelo de la tabla 8 presenta los efectos estimados de corto plazo. En él, se observa que el precio de la electricidad, el número de usuarios y las variables ficticias, las cuales captan el efecto estacional —climatológico, entre otros— presentan el signo esperado por la teoría.

¹² Dado que el DW es mayor que el valor crítico 0,386 ($0.686 > 0.386$), se concluye que las variables se cointegran. Véase Gujarati, p. 711.

¹³ Una vez que se verificó que el residuo fuera $I(0)$, se realizaron las pruebas de autocorrelación y heterocedasticidad, y se corrigió el modelo con la matriz de errores estandar de Newey-West, disponibles en el software Eviews 5.

El rezago del error es estadísticamente significativo: su signo negativo y su valor (0,429) nos indica que la velocidad del ajuste hacia el equilibrio es baja.¹⁴ Los resultados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Estimación del modelo en primeras diferencias mediante MCO

Variable	Coficiente	Error Estándar
Constante (Julio)	0,047*	0,006
Precio Electricidad	-0,165*	0,051
Precio gas	-0,100**	0,059
Ingreso	-0,276	0,228
Usuarios	0,304*	0,072
Error(-1)	-0,251*	0,047
Enero	-0,058*	0,012
Febrero	-0,025*	0,009
Marzo	-0,110*	0,009
Abril	-0,062*	0,012
Mayo	-0,019	0,015
Junio	0,030*	0,009
Agosto	-0,007	0,007
Septiembre	-0,019*	0,009
Octubre	-0,064*	0,010
Noviembre	-0,089*	0,008
Diciembre	-0,116*	0,009
R-cuadrada	0,844	
Durbin-Watson	2,14	

* Estadísticamente significativas al 5% de confianza.¹⁵

** Estadísticamente significativas al 10% de confianza.

¹⁴ Un valor cercano a 1 significa que la velocidad del ajuste hacia el equilibrio es alta. Asimismo, el signo negativo corrobora la cointegración.

¹⁵ El modelo presentó problemas de autocorrelación y fue corregido mediante la matriz de errores estándar de Newey-West, disponible en Eviews 5.

5. CONCLUSIONES

En este sencillo trabajo se analiza el efecto del crecimiento demográfico captado por el incremento de los usuarios de la ZMM, así como el efecto del precio del servicio, el ingreso y, de forma indirecta, los impactos del clima sobre el consumo de energía eléctrica domiciliaria, variables que son importantes para comprender y predecir el consumo energético. Para ello, se emplearon series de tiempo de 1993 a 2010, en frecuencia mensual, así como el enfoque de dos etapas de Engel-Granger.

Se encontró que un incremento porcentual del precio de la energía eléctrica genera un decremento de 0,165 por ciento en el consumo de la región en el corto plazo (tabla 8), y de 0,630 en el largo plazo (tabla 6). En otras palabras, podemos decir que la demanda de energía no es sensible a los cambios en el precio, resultado hasta cierto punto razonable, ya que la provisión del servicio se encuentra única y exclusivamente en manos del Estado y su uso es necesario para mantener las condiciones básicas de los hogares y de la sociedad en general. En este sentido, podríamos decir que las políticas públicas en las que se estimule un aumento del precio (eliminación de subsidios) no tendrán

un impacto o una reducción drástica en el consumo del servicio domiciliario.

El precio del gas no es relevante estadísticamente en el largo plazo. Sin embargo, en el corto plazo presenta un signo negativo y significativo al 10 por ciento (tabla 8). Esto nos indicaría que un incremento porcentual del precio del gas haría decrecer el consumo de electricidad en 0,100 por ciento, por lo cual podríamos decir que el gas doméstico es un bien complementario.

El ingreso, que es aproximado por el índice general de la actividad económica nacional, tiene un coeficiente positivo y estadísticamente significativo de 0,887 por ciento en el largo plazo. Por lo tanto, y con muchas reservas, podemos decir que un incremento en este índice incrementaría el consumo de la ZMM en el largo plazo, en tanto que en el corto plazo no generaría cambios sobre el consumo.

El número de usuarios en la red es la variable más importante para caracterizar el consumo de electricidad de la ZMM. Los resultados indican que un incremento porcentual en el número de usuarios aumentaría en 0,304 por ciento el consumo de electricidad en el corto plazo, en tanto que en el largo plazo se incre-

mentaría en 0,618 por ciento. De ahí que sea necesario caracterizar el perfil de consumo de los hogares de la región, lo que permitirá generar políticas específicas que contribuyan al manejo sustentable de la misma.

Las variables ficticias que captan los efectos estacionales, y que, de forma indirecta, captan los efectos del clima sobre el consumo de electricidad de la ZMM salieron altamente significativas. Para su estimación, se tomó el mes de julio como base, por lo tanto, todas las comparaciones se hacen con respecto a este mes. En la tabla 8 es posible observar que en los meses de enero, febrero, marzo, abril, septiembre, octubre, noviembre y diciembre el consumo se redujo, siendo diciembre el mes más sensible al cambio. Por el contrario, en junio se consumió 0,030 por ciento más que en julio, y mayo no fue estadísticamente diferente del mes base. Lo anterior nos indicaría que mayo, junio y julio son los meses en donde la demanda de electricidad se incrementa, debido a los efectos del clima y, en particular, a las altas temperaturas de la región.

Los valores bajos de la elasticidad-precio encontrados nos demuestran que para administrar el consumo de manera sustentable es necesario

generar políticas como el uso de electrodomésticos eficientes, focos ahorradores, y aislantes térmicos en lugares donde el clima es alto.

Es importante saber que el número de investigaciones que se elaboran sobre el tema es comúnmente a escala nacional y con una frecuencia anual, en tanto que nuestro estudio abarcó el ámbito regional, y en una frecuencia mensual, lo cual ha complicado o presentado deficiencias en la aplicación de la metodología. Los recientes avances en el tratamiento de las series de tiempo de alta frecuencia han dado como resultado la prueba HEGY. Dicha prueba se emplea para probar la raíz unitaria en frecuencia semestral, trimestral o mensual. Su desempeño ha resultado más efectivo que la tradicional prueba ADF, debido a que esta última presenta problemas ante variables con efecto estacional. Por lo tanto, una posible extensión de este trabajo sería aplicar dicha prueba sobre los datos y buscar cointegración estacional, para, de esta forma, probar que nuestros resultados son robustos.

REFERENCIAS

Athukorala, P. W., y Wilson, C. (2010), "Estimating short and long-term residential demand for electricity: new evidence

- from Sri Lanka.” En: *Energy Economics*, 32, 10: 534-540.
- Berndt, R. E., y Samaniego, R. (1983), “Residential electricity demand in Mexico: a model distinguishing access from consumption”. En: *Land Economics* 60, 3: 268-277. WP, MIT (eds.).
- Bouille, D. (2004), “Economía de la energía.” Consultado el 15 de marzo de 2012, en: http://www.posgradofadu.com.ar/archivos/biblio_doc/Economia_de_la_energia.pdf.
- Chang, Y., y Martínez, C. E. (2003), “Electricity demand analysis using cointegration and ECM”. Consultado el 10 de marzo de 2009, en: <http://www.ruf.rice.edu/~econ/papers/2003papers/08Chang.pdf>.
- Comisión Federal de Electricidad, (s. f.), “Estadísticas por sector.” Consultado el 10 de diciembre de 2011, en: <http://www.cfe.gob.mx/QUIENESSOMOS/ESTADISTICAS/Paginas/Estadistica.aspx>.
- Donatos, G., y Mergos, G. (1991), “Residential demand for electricity: the case of Greece”. En: *Energy Economics*, 13, 1: 41-47.
- Dergiades, T., y Tsoulfidis, L. (2008), “Estimating residential demand for US”. En: *Energy Economics*, 30: 2722-2730.
- Fisher, F. M., y Kaysen, C. (1962), *A Study in Econometrics: The Demand for Electricity in the United States*, Amsterdam: North-Holland Pub. Co.
- Gujarati, N. D. (2004), *Econometría*, México D. F.: McGraw Hill.
- Hondroyannis, G. (2004), “Estimation residential demand for electricity in Greece”. En: *Energy Economics*, 26: 319-334.
- Houthakker, H. S. (1951), “Some calculations of electricity consumption in Great Britain”. En: *Journal of the Royal Statistical Society*, 114: 351-371.
- INEGI (2010), “Censo de Población y Vivienda 2010”. Consultado el 11 de enero de 2012, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>.
- SENER (s. f.), “Prospectiva del sector eléctrico 2010-2015”. Consultado en noviembre de 2011, en: http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno de Nuevo León. Programa de Acción ante el Cambio climático. Consultada el 25 de enero de 2012, en: http://www.nl.gob.mx/pics/pages/sdsustentable_cambio_climatico_base/PACC-NL.pdf.

- Silk, J. I., y Joutz, F. L. (1997),
“Short and long run elasticities in US residential electricity demand: a co-integration approach.” En: *Energy Economics*, 19: 493–513.