

# *Suplemento / Supplement*

---

## *Uso, precio y gasto de energía en la economía mexicana<sup>1</sup>*

CLAUDIA S. GÓMEZ-LÓPEZ,<sup>2</sup> LUIS A. PUCH<sup>3</sup>

- **Resumen:** En esta investigación se estudia la respuesta (sensibilidad) del uso de la energía ante variaciones estocásticas en el precio internacional de una cesta de energéticos para una economía en desarrollo y exportadora de petróleo, como es el caso de México. Está ampliamente estudiado y documentado que, durante la década de los setenta, los cambios en el precio de la energía tuvieron consecuencias en el uso de ésta para los países miembros de la OCDE.

La evidencia empírica indica que el uso de energía no es sensible ante variaciones en los precios internacionales de la energía cuando se utilizan datos de series de tiempo, sin embargo, sí hay respuesta en el uso de la energía con datos de corte transversal. Se ha utilizado teoría del crecimiento no estándar para mostrar esta evidencia. En este trabajo se explora esta evidencia para una economía productora y exportadora de petróleo. Se demuestra que el mismo modelo que es capaz de explicar los patrones de uso, gasto y precio de la energía para países desarrollados e importadores de energía es capaz de hacerlo para una economía productora y exportadora de energía, aunque con algunas limitaciones que se ponen de manifiesto en el trabajo y que son de interés para aplicaciones relacionadas.

- **Abstract:** This paper studies the response (sensitivity) of energy use in a developing, oil-producing economy such as Mexico's to shocks in the international price of a representative bundle of energy goods. Many studies have shown how energy price movements during the seventies resulted in major changes in energy use in OECD economies. Empirical evidence has shown that when time-series data is used, energy use is not sensitive to changes in international energy prices, whereas it is when cross-sectional data is used. Non-standard theory has been used to present this evidence. In this paper, we explore this evidence for an oil-producing and exporting economy. We show that the model that can explain patterns of energy

---

<sup>1</sup> Los autores agradecen las sugerencias y observaciones de los dictaminadores del artículo.

<sup>2</sup> Departamento de Economía y Finanzas, Universidad de Guanajuato. DCEA-Campus Marfil. e-mail: claudia.gomez@ugto.org

<sup>3</sup> FEDEA (Fundación de Estudios de Economía Aplicada) y Universidad Complutense de Madrid. e-mail: lpuch@feda.es

use, expenditure and price in developed, energy-importing economies can do the same for an energy-producing and exporting economy, though with certain limitations, which are highlighted in the text and are of interest in related applications.

■ **Palabras clave:** energía, modelos PuttyClay.

■ **Clasificación JEL:** C82, E13, E32, Q43, R10.

■ Recepción: 14/07/2010

Aceptación: 15/09/2011

### ■ *Introducción*

La relación entre capital y energía es un viejo debate en la literatura económica respecto a si son factores de producción sustitutos o complementarios (Solow, (1987), Pindyck, y Rotemberg, (1983)). Cuando se utilizan series de tiempo, no existe evidencia sobre el hecho que cambios en el precio de la energía afecten su uso. Mientras tanto, si se utilizan datos de corte transversal, el uso de la energía es sensible a variaciones en los precios de la energía. La mayor parte de la investigación a este respecto se ha enfocado a países desarrollados y poca atención se ha dedicado a países en desarrollo.

Las firmas tienden a elegir aquellos factores productivos que minimizan el costo total de producir un nivel determinado de producción. Así, la demanda derivada de insumos, incluyendo la energía, depende del nivel de producto y de la sustitución entre insumos de acuerdo a la tecnología y a los precios relativos de todos éstos. Si el capital y la energía son bienes sustitutos, *ceteris paribus*, entonces precios de la energía más altos incrementarán la demanda de nuevos bienes de capital. Por el contrario, si capital y energía son bienes complementarios, entonces precios de la energía más altos disminuirán la demanda de energía y la de los bienes de capital y equipo.

En términos generales, si se encontrara que las posibilidades de sustitución entre la energía e insumos no energéticos fuese limitada, entonces se esperaría que el ajuste de la industria ante precios de la energía más altos fuese más difícil, esto es, que el costo unitario se incrementaría considerablemente y que la composición del producto sería menos intensiva en energía, requiriendo con ello cambios tecnológicos.

Berndt y Wood (1975, 1979), Hudson y Jorgenson (1974), Fuss (1977) y Magnus y Woodland trabajaron con datos para una sola economía y encontraron que energía y capital son bienes complementarios (el uso de la energía no es sensible ante el precio de la energía). Griffin y Gregory (1976) utilizaron datos de corte transversal (nueve países) para determinar los efectos de largo plazo y encontraron que energía y capital son bienes sustitutos (el uso de la energía es sensible a diferencias internacionales en los precios de ésta).

El comportamiento del uso de la energía ante variaciones en el precio es estudiado por Atkeson y Kehoe. Partiendo de un modelo neoclásico, analizan la elección de la intensidad energética en un modelo “putty-clay”, en el cual una gran variedad de tipos

de capital se combinan con energía en proporciones fijas.<sup>4</sup> Un bien de capital ( $k(v)$ ) más eficiente es aquél que necesita menos unidades de energía por unidad de capital. Sin embargo, un tipo de capital más eficiente tiene un costo: la producción bruta por unidad de capital es más baja cuanto más eficiente es el bien de capital. Un supuesto importante del modelo es que la inversión bruta en cada tipo de capital debe ser positiva.

En el corto plazo, no hay forma de sustituir energía y capital. A medida que transcurre el tiempo se incorporan en el mercado nuevos bienes de capital con distintas intensidades energéticas, de tal manera que, en el largo plazo, el uso de la energía es elástico con respecto al precio de la energía. Esto es, la razón capital / energía se ajusta en el tiempo. El mensaje de Atkeson y Kehoe (1999) es que se necesita complementariedad entre capital y energía en el corto plazo para replicar el comportamiento de las series de tiempo entre uso, gasto y precio de la energía. En este artículo nos preguntamos si el supuesto de complementariedad, combinado con el de irreversibilidad, que discuten Atkeson y Kehoe (1999) para la economía de EEUU, justifican las observaciones de uso, precio y gasto de energía de una economía en desarrollo, productora y exportadora de petróleo como la economía mexicana. Para ello, implementamos una versión centralizada de la economía descrita por estos autores a los datos correspondientes en el caso de México. El principal resultado es que el gasto energético (nominal) de la economía mexicana ha seguido estrechamente la evolución del precio de la energía medido como deflactor de una cesta de agregados energéticos a lo largo de todo el periodo 1970-2000. Sin embargo, el uso de energía (real) presenta una tendencia en los datos que refleja la transición tecnológica de la economía mexicana hacia su estado estacionario. Por otro lado, el ratio capital-energía en los datos fluctúa sustancialmente más que lo que predice el modelo, lo que sugiere que otras fuentes de fluctuaciones económicas han influido en la transición tecnológica de la economía mexicana en las últimas décadas. Además de las fortalezas y de las limitaciones del modelo para justificar el caso de México, los resultados ponen de manifiesto algunos aspectos específicos de la calibración para los agregados energéticos que pueden ser de interés en aplicaciones relacionadas. La caracterización de la mencionada transición tecnológica y de su volatilidad exceden los objetivos del presente artículo y quedan para futura investigación.

En efecto, en los modelos putty-clay no hay posibilidad de sustitución *ex post* de los factores de producción, pero hay al menos dos técnicas eficientes *ex ante*. Esta extensión del marco neoclásico contribuye a justificar las observaciones de los agregados energéticos. Sin embargo, el marco putty-clay que se considera tampoco tiene en cuenta: (i) la edad y estructura del capital y (ii) el progreso tecnológico y su naturaleza incorporada o desincorporada. Estos factores se caracterizan conjuntamente en un modelo de vintage<sup>5</sup> que podría contribuir a una mejor explicación de la evidencia descrita. Cuando el progreso técnico es al menos parcialmente incorporado y las sustituciones *ex ante / ex post* de factores son distintas, el capital es entonces un factor heterogéneo en la producción respecto

<sup>4</sup> La variable producción energía está formado por una cesta que incluye: gas natural, carbón, petróleo y electricidad.

<sup>5</sup> Se refieren a tomar en cuenta las características del capital a través de “cosechas” de capital que son cualitativa y cuantitativamente distintos.

al conjunto de actividades eficientes. Por lo tanto, las unidades de capital producidas en años distintos son diferentes en sus estándares técnicos y/o pueden ser eficientes sólo bajo distintas combinaciones capital-energía. En estos modelos, el capital se descompone en “tipos” de acuerdo al año de instalación y al conjunto de actividades eficientes *ex post* que pueden ser consideradas como homogéneas. A esos tipos de capital se les conoce como cosechas o generaciones de capital, cuya productividad cabe esperar esté sujeta a distintas fuentes de fluctuaciones.<sup>6</sup>

El trabajo se desarrolla de la siguiente forma: en la primera sección se presenta la evidencia empírica que fundamenta el comportamiento de uso, gasto y precio de la energía para la economía mexicana. La segunda sección desarrolla el modelo “putty-clay”, que incorpora las propiedades que indican que capital y energía son complementarios en el corto plazo y sustitutos en el largo plazo. La tercera sección muestra la calibración para los parámetros del modelo y su simulación. La cuarta sección, presenta los resultados de la simulación del modelo “putty-clay” y los compara con las series energéticas de la economía mexicana. Finalmente, en la última sección se presentan las conclusiones del trabajo.

### ■ *Evidencia empírica*

Los datos que utilizamos fueron obtenidos del Sistema de Cuentas Nacionales ([www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)) y de la Secretaría de Energía ([www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)) para el caso del consumo y producción de energía para el periodo 1970-2000. Los precios de la energía fueron obtenidos de distintas fuentes: el precio de la electricidad fue obtenido de la Comisión Federal de Electricidad y del petróleo crudo, carbón y gas natural, de la Agencia de Información Energética ([www.eia.doe.gob](http://www.eia.doe.gob)).

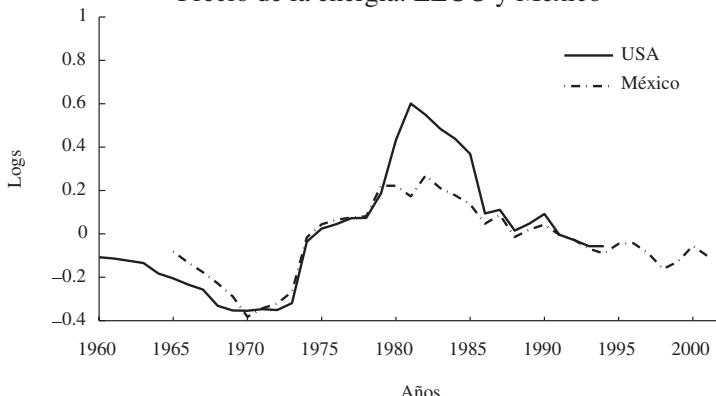
La Gráfica 1 presenta el precio de la energía para México y Estados Unidos. La Gráfica muestra que ambos países tienen, en términos generales, el mismo patrón de precios a lo largo del periodo estudiado. La Gráfica muestra el shock internacional de los precios del petróleo en 1981. Se observa una diferencia en los precios internacionales de la energía durante el periodo 1980-1986, resultando más bajos para la economía mexicana que para la economía estadounidense. La economía mexicana se caracterizó en ese periodo por tener una creciente deuda externa, devaluación del peso y altas tasas de inflación. Una explicación posible para esta diferencia de precios de los energéticos entre las dos economías es el tipo de instituciones que tiene cada uno de los países y sus diversas estructuras impositivas, entre

<sup>6</sup> Desde el punto de vista *ex ante*, los modelos pueden ser “clay”, en donde la razón capital/ energía *ex ante* eficiente es siempre única mientras que en los modelos “putty” se postula la coexistencia de varias (en consecuencia de la combinación de diferentes técnicas de hecho innumerables) combinaciones capital / energía eficientes *ex ante*. De estas combinaciones, las firmas elegirán aquella que más les convenga. Desde el punto de vista *ex post*, los modelos pueden ser “clay” –además del efecto de cambio técnico no incorporado–, en donde la sustitución de factores eficiente *ex post* no es posible y en los modelos “putty” los factores de producción pueden ser sustituidos directa y eficientemente.

Por tanto, la combinación de estas restricciones tecnológicas resulta en: (i) ausencia de sustitución entre capital y energía *ex ante* y *ex post* (clay-clay); (ii) ausencia de sustitución *ex post* (putty-clay) o *ex ante* (clay-putty), lo que típicamente implica tecnología tipo Leontief a nivel de la planta y la existencia de al menos dos técnicas eficientes; y (iii) sustitución eficiente entre capital y energía *ex ante* y *ex post* (putty-putty), lo que ocurre en el caso neoclásico.

otros. Por ejemplo, durante la administración del Presidente J. Carter (1977-1981), los impuestos energéticos fueron modificados en Estados Unidos al imponer tasas impositivas al petróleo y productos derivados. Tales impuestos obedecían a varios propósitos. Uno de ellos era reducir el déficit federal, otro reducir la dependencia de Estados Unidos del petróleo importado y cuidar los riesgos en la economía; finalmente, los impuestos también favorecerían la industria petrolera doméstica que se encontraba en recesión durante esos años. Los defensores de los impuestos petroleros veían en ellos, un estímulo para disminuir los precios internacionales de este energético (Congress of the United States, 1996).

Gráfica 1  
Precio de la energía: EEUU y México



Fuente: Elaboración propia.

La variable uso de la energía se define como  $e_t = \sum_i Q_{it} P_{i0}$ , donde  $Q_{it}$  es el uso de la energía  $i$ , en el año  $t$ ,  $P_{i0}$  es el precio del energético  $i$  a precios del año base 1995. El gasto energético es  $E_t = \sum_i Q_{it} P_{it}$ , donde  $P_{it}$  es el precio del energético  $i$  en el año  $t$ . Finalmente,

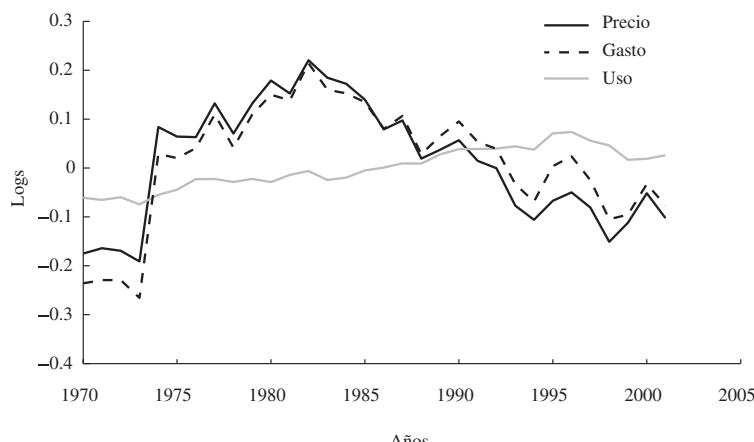
el precio de la energía se define como  $P_t^e = \frac{\sum_i Q_{it} P_{it}}{\sum_i Q_{it} P_{i0}}$ .

La Gráfica 2 presenta las razones de los logaritmos de precio, gasto y uso de la energía respecto al deflactor del PIB, el PIB a precios corrientes y el PIB a precios constantes respectivamente para la economía mexicana en el periodo 1970-2000. El gasto energético es altamente sensible ante variaciones en los precios de la energía, mientras que el uso de energía lo es menos. Se observa una tendencia creciente en la pendiente de uso energético en la economía mexicana. Esta última evidencia se explica por el hecho que la economía mexicana se encuentra en crecimiento y no ha alcanzado aún su nivel de estado estacionario.

Se calcularon las correlaciones contemporáneas para las variables energéticas y otras. Éstas se presentan en el Cuadro 1. Esta medida nos permite confirmar lo ya observado en las gráficas: el uso de energía es poco sensible ante cambios en el precio de la energía (aunque sin ser estadísticamente significativo el coeficiente de correlación), mientras que

el gasto muestra una alta relación con respecto a movimientos en el precio internacional de la energía. Respecto a otras variables no energéticas se observa que existe una relación positiva entre uso de energía con respecto al producto y al capital, siendo ambas correlaciones estadísticamente significativas. La relación es baja o nula (y no estadísticamente significativa) entre estas dos últimas variables y el precio de la energía. Lo que sugieren estos últimos resultados es que cambios en los precios de la energía no afectan la producción y la acumulación de capital o, bien, lo hacen de manera discreta para la economía mexicana y al estar el uso de energía relacionado positiva y significativamente con el capital y el producto, sugiere que los factores de la producción energía y capital son bienes complementarios.

Gráfica 2  
México: precio, uso y gasto de energía. Pesos



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 1  
México: Correlaciones de variables energéticas. Se presentan los niveles de significancia entre paréntesis para la hipótesis nula de no correlación.

| Variables                          | Méjico           |
|------------------------------------|------------------|
| Uso de energía-Precio de energía   | -0.1011 (0.5884) |
| Gasto de energía-Precio de energía | 0.9424 (0.0000)  |
| Uso de energía-Producto            | 0.8795 (0.0000)  |
| Uso de energía-Capital             | 0.8721 (0.0000)  |
| Precio de energía-Producto         | 0.0527 (0.7782)  |
| Precio de energía-Capital          | 0.2031 (0.2730)  |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 2**  
Méjico: Persistencia de variables energéticas

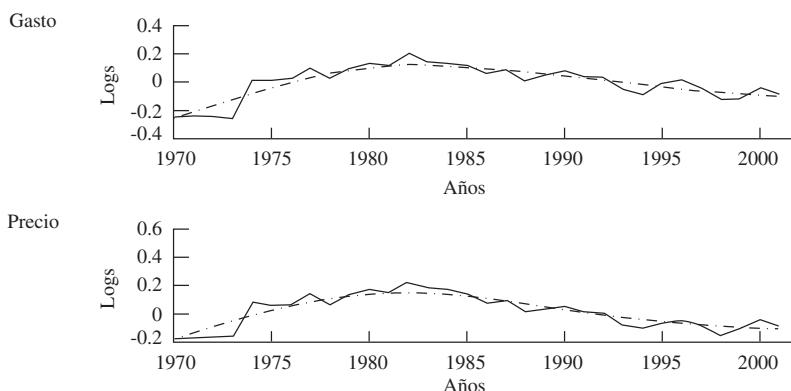
| Variable          | Autocorrelaciones |          |          |
|-------------------|-------------------|----------|----------|
|                   | $\rho_1$          | $\rho_2$ | $\rho_3$ |
| Precio de energía | 0.8153            | 0.6517   | 0.4890   |
| Gasto de energía  | 0.7772            | 0.5833   | 0.3976   |
| Uso de energía    | 0.9113            | 0.8106   | 0.7022   |

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar la persistencia de las variables energéticas en el tiempo, estimamos las auto-correlaciones para 1, 2 y 3 periodos. El Cuadro 2 muestra que las variables son persistentes en el tiempo.

Aplicamos el filtro de Hodrick-Prescott<sup>7</sup> como un método estándar para extraer la tendencia de las variables energéticas. Al graficarlas con respecto al tiempo, observamos un cambio de tendencia en el año 1981, cuando ocurrió el shock petrolero. La Gráfica 3 muestra el ciclo y la tendencia de las variables energéticas de la economía mexicana.

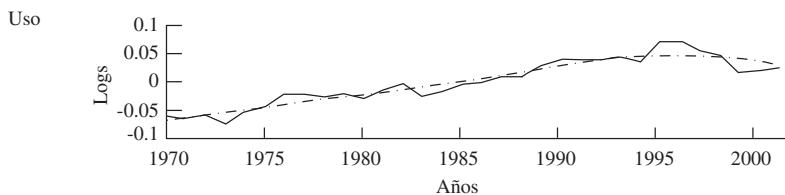
**Gráfica 3**  
Uso, precio y gasto de energía en México. Datos y tendencia



<sup>7</sup> El filtro Hodrick-Prescott supone que las series de tiempo ( $y_t$ ) pueden ser descompuestas en su componente tendencial ( $g_t$ ) y su componente cíclico ( $c_t$ ):  $y_t = g_t + c_t$ . El suavizamiento de la serie viene determinado por la suma de cuadrados de las segundas diferencias de la tendencia, mientras que el componente cíclico recoge desviaciones cuyo promedio a largo plazo debe ser cero. El problema para determinar el componente de la tendencia viene dado por:

$$(1) \quad \min_{g_t} \left\{ \sum_{t=1}^T c_t^2 + \lambda \sum_{t=1}^T [(g_t - g_{t-1}) - (g_{t-1} - g_{t-2})]^2 \right\}$$

Donde el parámetro  $\lambda$  es un número positivo que penaliza la variabilidad del componente de tendencia de la serie. Mientras mayor sea  $\lambda$ , la solución de la tendencia tenderá a ser más suave y en el caso extremo en el que este parámetro tiende a infinito tendremos como solución una línea recta.



Fuente: Elaboración propia.

### ■ Un Modelo Putty-Clay

En esta sección describimos el entorno económico. Utilizamos un modelo “putty-clay” caracterizado por la complementariedad entre los factores de la producción capital y energía e irreversibilidad, una vez que se ha elegido una combinación de factores productivos. En este tipo de modelos hay al menos dos técnicas *ex ante* eficientes, de tal manera que la función de producción es de tipo Cobb-Douglas. En los modelos “putty-clay”, los bienes de capital son representados como una amplia variedad de tipos de capital de acuerdo a las proporciones en que se combinan con otros factores de la producción y no es posible agregar el capital.

Partiendo del modelo neoclásico, Atkeson y Kehoe (1999) analizan la intensidad energética en un modelo “putty clay”, en el cual una gran variedad de tipos de capital se combinan con energía en distintas proporciones fijas. Un bien de capital más eficiente es aquél que necesita menos unidades de energía por unidad de capital. Sin embargo, usar capital más eficiente tiene un costo: la producción por unidad de capital es menor cuanto más eficiente es éste. Un supuesto importante es que la inversión en cada tipo de capital debe ser positiva.

En el corto plazo, no hay forma de sustituir energía y capital. Sin embargo, a medida que pasa el tiempo, nuevos bienes de capital que utilizan menos unidades de energía por unidad de capital son incorporados en el mercado, de tal manera que, en el largo plazo, el uso de energía es elástico respecto al precio de la energía. Esto es, la razón capital-energía se ajusta en el tiempo. Esto es, el modelo “putty-clay” permite incorporar las características de sustitución y complementariedad entre capital y precio de la energía observadas en los datos en trabajos previos.

### Los Hogares

La economía se compone de un agente representativo que vive infinitos períodos con las siguientes preferencias:

$$(2) \quad \max E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U(c_t)$$

donde  $c_t$  es consumo y  $\beta$  es el factor de descuento intertemporal y  $\beta \in (0, 1)$ . La función de utilidad tiene la siguiente forma  $U(c_t) = \ln(c_t)$ . El trabajo se ofrece inelásticamente.

Bajo ciertas condiciones que caracterizan Atkeson y Kehoe (1999) en sus proposiciones 1 a 3, se puede demostrar que a partir de la tecnología de la firma, las siguientes ecuaciones definen las leyes de movimiento de los servicios de capital agregado ( $z_{t+1}$ ) y del uso de energía ( $m_{t+1}$ ) para la economía:

$$(3) \quad z_{t+1} = (1 - \delta)z_t + \int_v x_t(v) \frac{f(v)}{v} dv$$

$$(4) \quad m_{t+1} = (1 - \delta)m_t + \int_v x_t(v) \frac{1}{v} dv$$

donde  $x_t$  es inversión en capital  $-k_t$  de tipo  $v$ ,  $m_t$  es el uso de energía agregado,  $z_t$  son los servicios agregados de capital y  $v_t$  se define como la razón  $\frac{k_t}{e_t}$ , es decir, la intensidad energética y  $\delta$  la tasa de depreciación.

El modelo se puede resolver de forma sencilla con sólo dos variables endógenas, independientemente de la variedad de bienes de capital que son utilizados. Los servicios de capital y energía se agregan si se supone (i) que todos los tipos de capital de tipo  $v$  son totalmente utilizados en equilibrio. Esto es, dado cualquier nivel de salarios, precios y vector de capital existentes, existe un “valor de corte” de intensidad de energía tal que todos los capitales con menor intensidad de energía son completamente utilizados y aquéllos con mayor intensidad de energía son descartados y (ii) existe inversión en cada periodo en un solo tipo de capital: cuando más un tipo de capital con inversión positiva, aún cuando los precios de la energía son estocásticos.

Los supuestos (i) y (ii) permiten que cuando todos los bienes de capital se utilizan completamente, el equilibrio del modelo puede ser encontrado como la solución a un problema de programación dinámica para sólo dos variables de estado agregadas endógenas.<sup>8</sup>

Este resultado permite omitir la “maldición de la dimensionalidad” que resulta cuando se analiza una gran variedad de bienes de capital y de restricciones no negativas en la inversión. Los supuestos anteriores permiten agregar la economía de la siguiente manera:

$$(5) \quad z_{t+1} = (1 - \delta)z_t + x_t v_t^{-s_e}$$

$$(6) \quad m_{t+1} = (1 - \delta)m_t + x_t v_t^{-1}$$

Las variables son las mismas definidas arriba.  $s_e$  y  $s_L$  son las participaciones de la energía y del trabajo en el producto respectivamente.

<sup>8</sup> Los supuestos [i] y [ii] hacen posible agregar los servicios de capital y de energía.

Se utiliza la solución a este problema restringido para construir una solución candidata al problema original.

Sea  $\{z_{t+1}, m_{t+1}, x_p, c_p, y_t\}$  la solución al problema restringido, con  $z_0$  y  $m_0$ . Se construyen secuencias  $\{k_{t+1}, e_t\}$  usando  $x_t$  y  $x_t(v) = k_{t+1}(v) - (1 - \delta)k_t(v) \geq 0$  y se fija  $e_t(v) = \frac{k_t(v)}{v} \forall v$ . La colección resultante de secuencias construidas  $\{k_{t+1}, x_p, e_p, z_p, m_p, c_t, y_t\}$  de esta manera satisface las restricciones del problema original (Atkeson y Kehoe, 1999).

### *Entorno estocástico*

Supondremos que los precios de la energía se determinan en mercados internacionales a un precio exógeno dado  $-pt-$ . Tomando como referencia trabajos previos (Finn, 1996; Kim y Loungani, 1992; Atkeson y Kehoe, 1999 y Díaz, Puch y Guilló, 2004), el precio de la energía tiene un proceso estocástico  $ARM A(1, 1)$  definido como:

$$(7) \quad \log p_{t+1} = (1 - \rho) \log \bar{p} + \rho \log p_t + \phi \varepsilon_t + \varepsilon_{t+1}$$

Donde  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2_\varepsilon)$  y  $\bar{p}$  es el precio promedio de la energía.

### *Equilibrio*

Un equilibrio para esta economía es un conjunto de secuencias  $\{z_{t+1}, m_{t+1}, x_t, c_t, y_t\}$  tales que maximizan (2) sujeto a (5), (6) y

$$(8) \quad c_t + x_t = z_t^{1-s_L} - p_t m_t$$

con  $k_0$  dado,  $\ell_t = 1$  y el proceso de precios estocástico (7) como dado.  $x_t$  es la inversión en capital  $k_t$  ( $v$ ),  $m_t$  es el uso de energía agregado,  $z_t$  son los servicios agregados de capital y  $v_t$  es la razón  $\frac{k_t}{e_t}$ , es decir, la intensidad energética.  $s_L$  es la participación del trabajo en el producto.

### *El problema del planificador central*

El agente representativo maximiza (2) sujeto a (5), (6) y (8)<sup>9</sup>

<sup>9</sup> El sistema de ecuaciones que caracteriza las asignaciones de estado estacionario para la economía está dado por:

$$(9) \quad v(1) = z^{-s_L} - \left(\frac{1}{\beta} - (1 - \delta)\right) * \frac{q}{1 - s_L}$$

$$(10) \quad v(2) = v^{s_L-1} - \left(\frac{1}{\beta} - (1 - \delta)\right) * \frac{s_L q}{p}$$

$$(11) \quad v(3) = q - \frac{v^{s_L}}{(1 - s_L)}$$

$$(12) \quad v(4) = c + x - z^{1-s_L} + pm$$

$$(13) \quad v(5) = x - \frac{z\delta}{v^{-s_L}}$$

$$(14) \quad v(6) = m - \frac{x}{\delta v}$$

La aproximación de Taylor de primer orden alrededor del estado estacionario, de acuerdo a King, Plosser y Rebelo (2002), da como resultado el siguiente sistema linearizado:

$$(15) \quad \widehat{q}_t - \widehat{c}_t = E_0 \left[ -\widehat{c}_{t+1} + \beta(1 - \delta)\widehat{q}_{t+1} - \frac{\beta}{q} s_t (1 - s_t) z^{-s_L} \widehat{z}_{t+1} \right]$$

## ■ Calibración

Los parámetros a estimar son la tasa de depreciación del capital  $-\delta$ , el factor de descuento inter temporal  $-\beta$  y la participación de la energía en el producto ( $s_e = 1 - s_L - s_K$ ). Estimamos las participaciones del capital y de la energía del sistema de cuentas nacionales para el periodo 1970-2000. Los parámetros  $\beta$  y  $\delta$  se obtuvieron a partir de las condiciones de primer orden del modelo.

La calibración realizada para la economía mexicana nos indica los siguientes parámetros: 0.97 el factor de descuento ( $\beta$ ), y 5 % la tasa de depreciación como cabe esperar para una economía en transición.<sup>10</sup> Por otro lado, la participación del trabajo en el producto es 0.35 de acuerdo con los datos. De hecho, diversos estudios la han situado entre 0.35 y 0.42 a la vista de las Cuentas Nacionales. Sin embargo, trabajos recientes basados en la encuesta de gasto de los hogares (García Verdú, 2005 y Gollin, 2002) de los años 1968, 1977, 1984, 1989, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002 obtienen que: (i) la participación de los factores en México es mucho más cercana a la de Estados Unidos que la que arrojan las cuentas nacionales con una participación del capital de aproximadamente 40% y el trabajo 60% y (ii) la participación de los factores en México ha sido constante en el tiempo. Más aún, los hechos estilizados indican que el trabajo tiene una participación en la renta cercana al 70%, toda vez que es corregida por el autoempleo y el peso de la economía informal.

Es por esto que adoptamos como valor del compromiso un valor de  $s_L$  igual al de la economía estadounidense, en torno al 60%. De manera similar, las Cuentas Nacionales podrían no estar reflejando bien a lo largo de todo el periodo la participación de la energía en el producto que resulta ser de 0.012, es decir, la energía aporta un 1.2 % al producto. Si tenemos en cuenta la creciente participación de la energía en el producto a lo largo de la muestra, así como algunos trabajos recientes que de nuevo sugieren que aunque

$$(16) \quad \widehat{q}_t - \widehat{c}_t + b_1 \widehat{v}_t = -\widehat{c}_{t+1} + b_2 \widehat{q}_{t+1} + b_3 \widehat{v}_{t+1} + b_4 \widehat{p}_{t+1}$$

$$(17) \quad c^* \widehat{c}_t + x^* \widehat{x}_t = (1 - s_t) z^{1-s_t} \widehat{z}_t - m^* p^* \widehat{p}_t - m^* p^* \widehat{m}_t$$

$$(18) \quad z^* \widehat{z}_{t+1} = (1 - \delta) z^* \widehat{z}_t - s_e v^{-s_e} \widehat{v}_t + x^* v^{-s_x} \widehat{x}_t$$

$$(19) \quad m^* \widehat{m}_{t+1} = (1 - \delta) m^* \widehat{m}_t + x^* v^{-1} \widehat{x}_t - x^* v^{-1} \widehat{v}_t$$

donde,

$$b_1 = (1 - s_e) v^{-1}$$

$$b_2 = \beta(1 - \delta)$$

$$b_3 = \beta(1 - s_e)(1 - \delta)$$

$$b_4 = \frac{\beta}{q^* s_e v^{1-s_e}} \frac{1}{v}$$

<sup>10</sup> Otros trabajos encuentran valores similares para los parámetros: Cole y Kehoe (1996) y Meza (2003).

las economías de México y EEUU son estructuralmente distintas, la participación de los factores (capital, trabajo y energía) es similar, encontramos aceptable no distinguir en las simulaciones entre ambas economías en esta dimensión de los datos. El modelo tiene predicciones más en conformidad con los datos de México para participaciones de trabajo y energía en el producto más altas que las implicadas por las cuentas nacionales.

Cuadro 3  
México. Calibración de los parámetros del modelo

| Parámetros | EEUU:<br>(Atkeson <i>et al.</i> 1999) | México<br>(Cuentas nacionales) | México<br>(Simulación) |
|------------|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| $\beta$    | 0.96                                  | 0.97                           | 0.96                   |
| $\delta$   | 0.10                                  | 0.05                           | 0.10                   |
| $S_e$      | 0.043                                 | 0.012                          | 0.043                  |
| $S_L$      | 0.57                                  | 0.35                           | 0.57                   |

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 3 presenta los parámetros medidos y los empleados efectivamente en las simulaciones del modelo que se presentan.

El proceso *ARM A(1, 1)* se parametrizó como en Atkeson y Kehoe (1999) y, dada nuestra medida del precio, se derivaron los shocks en el precio de la energía que corresponden a México.

### ■ Resultados

Esta sección presenta los resultados obtenidos de la simulación del modelo “putty clay” para la economía mexicana.

Las correlaciones del modelo respecto a uso de energía ante cambios en el precio de la energía muestran que la primera variable es sensible a éste. El modelo replica parcialmente los datos. Respecto a gasto-precio de la energía, las correlaciones entre los datos y el modelo son similares y se mueven en la misma dirección. Aunque la mayoría de las correlaciones son similares a las de los datos, aún queda lugar para mejoras en el modelo, en particular las de uso-precio de la energía y la de uso energía-producto. Aun cuando la literatura sugiere que un incremento en el precio de la energía influiría en la decisión de las firmas a sustituir el capital existente hacia aquellos bienes de capital que requirieran menos unidades de energía por unidad de capital, las correlaciones sugieren que éste no es el caso. Las correlaciones del modelo se presentan en el Cuadro 4.

La Gráfica 4 presenta las simulaciones del modelo. La Gráfica muestra el logaritmo de la razón del uso de energía respecto al PIB nominal y la razón del uso de energía respecto al PIB real para el modelo y los datos de la economía mexicana. El uso de energía no fluctúa demasiado y el gasto de energía es la variable que absorbe los cambios en los precios de la energía. Así, el modelo es adecuado para replicar los datos del precio de la energía; sin embargo, en el caso del uso de los energéticos debe modificarse para que

tome en cuenta  $e_t$ , ya que si bien es poco sensible a los cambios en el precio de la energía, muestra una pendiente positiva indicando un aumento en el consumo de la energía en términos reales para la economía mexicana.

La Gráfica 5 muestra el logaritmo de la razón capital energía  $(\frac{k_t}{e_t})$  de los datos y del modelo “putty clay”. Para el caso de la economía mexicana se aprecia que el ajuste en la razón  $\frac{k_t}{e_t}$  no es satisfactorio. Esto se debe a las proposiciones del modelo que dicen que los tipos de capital viejos (ineficientes) son siempre utilizados en equilibrio, no permitiendo que la razón del modelo varíe como lo hacen los datos. El modelo tiene que ajustarse en este sentido para que la razón capital energía replique de manera más cercana los datos de la economía mexicana.

Cuadro 4  
México. Correlaciones de la economía mexicana. Datos y modelos

| Variables                          | Modelo  | Datos   |
|------------------------------------|---------|---------|
| Precio de energía-Uso de energía   | -0.6316 | -0.1016 |
| Precio de energía-Gasto de energía | 0.9997  | 0.9423  |
| Precio de energía-Producto         | 0.8240  | 0.8659  |
| Uso de energía-Capital             | 0.6290  | 0.9180  |
| Uso de energía-Producto            | 0.2612  | -0.0773 |

Fuente: Elaboración propia.

Aun cuando el modelo fue pensado para una economía en desarrollo e importadora de energía, como es el caso de Estados Unidos, es adecuado para explicar las variables de uso, precio y gasto de energía para una economía en desarrollo y productora y exportadora de capital, como es la economía mexicana.

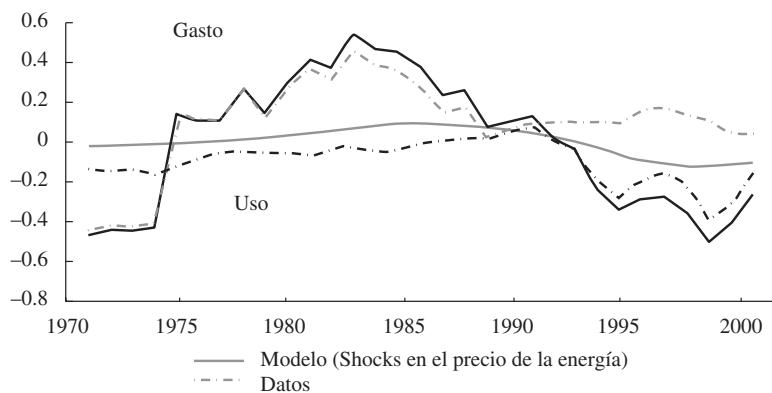
Los resultados sugieren que el modelo debería extenderse para incluir una transición tecnológica capaz de justificar la ligera tendencia creciente observada en el uso de energía, así como para incorporar alguna fuente adicional de fluctuaciones consistente con la volatilidad observada en el ratio capital-energía.

#### ■ Comentarios finales

La evidencia empírica ha mostrado que al utilizar series de tiempo, el uso de energía no varía sensiblemente ante cambios en los precios de la energía mientras que si se utilizan datos de corte transversal, el uso de la energía es sensible ante variaciones en los precios internacionales de la energía. En este trabajo se exploraron estas características para una economía productora y exportadora de petróleo.

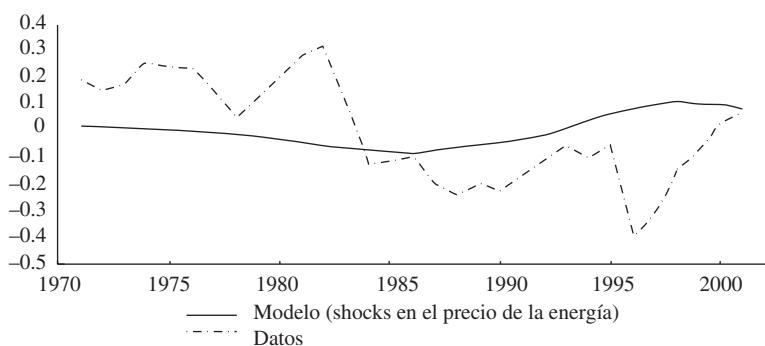
Una característica del modelo utilizado –creado inicialmente para una economía desarrollada e importadora de capital–, es que es adecuado para explicar las series de precio y gasto de energía para una economía en desarrollo, productora y exportadora de petróleo, como la economía mexicana. Los resultados del modelo “putty clay” muestran que las predicciones del modelo son similares a las de los datos reales. Más aún, el modelo

Figura 4  
México. Uso y gasto de energía. Modelo y datos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5  
México. Relación capital-energía. Modelo y datos



Fuente: Elaboración propia.

predice adecuadamente el comportamiento de las correlaciones entre precio y gasto de la energía. Las predicciones del modelo no son del todo satisfactorias cuando se trata de justificar la evolución del uso de energía, aunque la limitación fundamental proviene del hecho de que la economía mexicana, que en estos años es una economía en transición, exhibe una ligera tendencia en la participación de la energía en el producto.

Una lección importante de las simulaciones del modelo es que nos provee de evidencia indirecta para calibrar la participación del capital en el ingreso cercano a  $\frac{1}{3}$ , así como otras participaciones similares a la economía estadounidense. Este resultado es relevante

puesto que en general se considera que la estructura de la economía mexicana es distinta a la de la economía estadounidense; sin embargo, las simulaciones llevadas a cabo en esta investigación nos permiten concluir que con respecto a la participación de los factores en la producción son más parecidas de lo que se hubiera esperado. Hay que destacar que si bien este es un resultado de la literatura económica, de manera implícita se está incorporando todo el trabajo (formal e informal) en la participación del producto total.

Aun cuando el modelo es adecuado para la economía mexicana, hay elementos del modelo que pueden modificarse. El primer elemento es explicar la tendencia positiva que se observa en el uso de la energía. El segundo elemento se refiere a la diferencia de precios con respecto a la economía estadounidense en el periodo 1980-1987. Esto último se refiere a las instituciones existentes en las economías. Por último, considerar las características del mercado de trabajo informal para la economía mexicana que, según el ejercicio de calibración realizado en este trabajo, es del 22% del trabajo total. Finalmente, la construcción de los datos para uso y gasto de energía no toman en cuenta la producción doméstica de energía. Esta característica de la economía mexicana debe tomarse en cuenta, dado que la economía mexicana es productora de petróleo.

## ■ Apéndice I

### *Uso, gasto y precio de la energía*

La serie de datos cubre el periodo 1970-2001. Los datos de energía toman en cuenta el consumo de usuarios finales. Los usuarios finales consumen energía básicamente de cuatro tipos: carbón, petróleo, gas natural y electricidad. INEGI y la Secretaría de Energía proveen datos de consumo de energía total por sector y por usuarios finales (Residencial, Comercial y Público, Transporte, Agropecuario e Industrial y Minería), desagregada por productos energéticos primarios y secundarios medidos en petajoules.<sup>11</sup> Le llamamos  $Q_u^{T,ot}$  al uso de energía para cada tipo  $i$  en cada periodo  $t$  donde  $i = 1, 2, 3, 4$  y se refiere a los cuatro tipos de energía.  $Q_u^{T,ot}$  es el uso de energía neto del sector industrial.<sup>12</sup> No hay información disponible de uso de energía por tipo de los otros sectores productivos. Suponemos, como en Atkeson y Kehoe (1999), que el uso de energía en estos sectores es cero. Los datos de consumo de energía de los sectores de carbón y petróleo no están disponible y no está desagregada en las cuatro formas de energía. Suponemos también que el consumo de energía se divide en las cuatro formas de ésta, de acuerdo a las participaciones promedio de los sectores industriales. Dichas participaciones se calcularon de los datos de consumo de energía del sector industrial.

La construcción de la medida de precios constantes es estándar. Elegimos el año base 1995 y definimos el uso de energía como  $e_t = \sum Q_{it} P_{it}$  donde  $P_{it}$  es el precio en pesos por petajoule de energía del tipo  $i$  en el año 1995, tomado de INEGI o de la Secretaría

de Energía. El deflactor del precio de la energía se define como  $P_t = \frac{\sum_i Q_{it} P_{it}}{\sum_i Q_{it} P_{i0}}$ . Final-

<sup>11</sup> 1 petajoule es equivalente a 0.94708 miles de barriles de petróleo crudo.

<sup>12</sup> México: consumo de combustibles para generación de electricidad del SEN y capacidad instalada por tipo.

mente, el gasto nominal de energía está definido como  $P_t e_t = \sum_i Q_{it} P_{it}$ . Los datos de los precios de los energéticos incluidos en la canasta de éstos no son uniformes. Para la electricidad, carbón y gas natural se tienen datos para el periodo 1980-2001. Para el petróleo para todo el periodo.

### *Producción, consumo, inversión y capital*

Atkeson y Kehoe (1999) y Díaz, Puch y Guilló (2004) siguen la metodología de Cooley y Prescott (1995) para construir medidas de producción, consumo, inversión y capital. Para la producción, consumo e inversión, quitamos a cada una de éstas series las correspondientes del sector productor de energía.

Para calcular la producción del sector productor de energía, utilizamos el valor agregado de la electricidad y del petróleo, por no tener disponibles las series de los otros dos sectores de la energía. A falta de datos, hemos supuesto que el valor agregado de los sectores de la energía es igual al valor de la producción doméstica.

La producción real bruta es la suma del valor agregado y del gasto en energía:  $P_t e_t = \sum_i Q_{it} P_{it}$ . La inversión en el sector energético se define como el agregado de compras en estructuras en el sector electricidad y oleoductos y estructuras en el sector petrolero. No se tiene información de inversión en los sectores de carbón y gas natural. El stock de capital de los sectores energéticos se calcula como el stock de capital en los sectores electricidad y petróleo.

### ■ *Bibliografía*

- Atkeson, A. y P. Kehoe (1999). Models of Energy Use: Putty-putty versus Putty-clay, *American Economic Review* Vol 89, n.4. 1028-1043.
- Backus, D. y Crucini (1998). Oil Prices and the terms of trade. NBER Working Paper 6697.
- Berndt, E. R. y D. O. Wood (1975). Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy, *Review of Economics and Statistics* 57(3) p. 259-268.
- Berndt, E. R. y D. O. Wood (1979). Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementarity, *American Economic Review*, 69(3) p.342–354.
- Cole, H. y T. Kehoe (1996). A self-fulfilling model of Mexico's 1994-1995 Debt Crisis. Federal Reserve Bank of Minneapolis. Research Department Staff Report 210. Abril.
- Congress of the United States (1996). The Budgetary and Economic Effects of Oil Taxes. Congressional Budget Office. Abril.
- Cooley, T. y E. Prescott (1995). "Economic Growth and Business Cycles" in Thomas F. Cooley, ed. *Frontiers of Business Cycle Research*. Princeton University Press. p. 1–38.
- Díaz, A., L. A. Puch y M. Guilló (2004). Costly Capital Reallocation and Energy Use, *Review of Economic Dynamics*, 7.
- Finn, M. G. (1996). Variance properties of Solow's productivity residual and their cyclical implications, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 57(19).

- Fuss, M. A. (1977). The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: an example of the estimation of production function with many inputs *Journal of Econometrics*, 5, p. 89-116.
- García-Verdú, R. (2005). Factor Shares from Household Survey Data. WP. 2005-05. Dirección General de Investigación Económica. Banco de México.
- Gollin, D. (2002). Getting Income Shares Right. *Journal of Political Economy*, Vol. 110, No. 2, Abril 2002, pp. 458-474
- Griffin, J. M. y Gregory, P. R. (1976). An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses *The American Economic Review*, 66(5), p. 845–857.
- Hudson, E. A. y Jorgenson, D. W. (1974). US Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000, *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 5(2) p. 461–514.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2004). Indicadores del Sector Energético. Banco de Información Económica. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Kehoe, T. (1995). A Review of Mexico's Trade Policy from 1982 to 1994. *The World Economy*, (18), 135-51.
- Kim, I. M. y P. Loungani (1992). The role of energy in real business cycle models, *Journal of Monetary Economics*, 29(2).
- King, R., C. Plosser y S. Rebelo (2002). Production, Growth and Business Cycles: Technical Appendix, *Computational Economics*, octubre.
- Magnus, J. R. (1979). Substitution between Energy and Non-Energy Inputs in the Netherlands 1950-1976, *International Economic Review*, 2(20) p. 465–484.
- Meza, F. (2003). Fiscal Policy and the Contraction of Real Activity in Mexico in 1995. Federal Reserve Bank of Minneapolis. Research Department.
- Pindyck, R. S. y J. Rotemberg (1983). Dynamic Factor Demands and the Effects of Energy Price Shocks, *American Economic Review*. Vol. 73, n.5. 1066-1079
- Secretaría de Energía (2001). Balance Nacional de Energía, 2000.
- Solow, J. (1987). The Capital-Energy Complementarity Debate Revisited, *American Economic Review*. Vol.77, N. 4. 605-614.