



fedea

Fundación de
Estudios de
Economía Aplicada

Uso de Energía en Economías Exportadoras de Petróleo

Claudia S. Gómez-López

Universidad de Guanajuato (México)

Luis A. Puch

FEDEA y Universidad Complutense de Madrid

Colección Estudios Económicos

24-08

Serie

Programa de Investigación Energía y Cambio Climático

Fedea – Abengoa

ISSN 1988-785X

www.fedea.es

Uso de Energía en Economías Exportadoras de Petróleo

Claudia S. Gómez-López* y Luis A. Puch†

Octubre, 2008

Abstract

This paper studies the response of energy use to energy price shocks in oil producing countries. It is a well documented fact that energy price movements during the seventies caused mayor changes in OECD economies. Empirical evidence has shown that in time series data, energy use does not change much with energy price changes while in cross-section data, energy use is responsive to international differences in energy prices. Non-standard theory has been used to show these facts. In this paper we explore these issues for an oil-exporting economy. We show that the same model that captures energy use in developed and oil - importing economies, is able to explain for an oil producing and exporting economy the short and long run elasticities seen in data.

Abstract

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 economías en desarrollo y exportadoras de petróleo. Está ampliamente estudiado y documentado que durante la década de los setenta, los cambios en el precio de la energía tuvieron

*Escuela de Economía, Universidad de Guanajuato (México). E-mail: claudia.gomez@ugto.org

†FEDEA y Universidad Complutense de Madrid. E-mail: lpuch@fedea.es

consecuencias en el uso de la energía 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, si 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 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.

JEL Codes: C82, E13, E32, Q43, R10

Palabras Clave: Energía, Modelos Putty - Clay

1 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 [27], Pindyck y Rotemberg[25]]. Esto se relaciona a los datos utilizados en la literatura. Cuando se utilizan series de tiempo, no existe evidencia que cambios en el precio de la energía afecte el uso de ésta. 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 aquéllos 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, 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[6], Berndt y Wood[7], Hudson y Jorgenson[16], Fuss [13] y Magnus y Woodland[21] 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[15] 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 de ésta es estudiado por Atkeson y Kehoe[1]. Partiendo de un modelo neoclásico, analizan la elección de la intensidad energética en un modelo "putty-clay" en el cuál una gran variedad de tipos de capital se combinan con energía en proporciones fijas¹. Un bien de capital ($k(v)$) más eficiente es aquél que necesita menos unidades de energía por unidad. Sin embargo, un tipo de capital más eficiente tiene un costo: la producción bruta por unidad de capital es más baja cuánto más eficiente es el bien de capital. Un supuesto importante del modelo es que la inversión bruta en cada tipo de capital debe de 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 es que se necesita complementariedad entre capital y energía en el corto plazo para replicar el comportamiento de las

¹El insumo de producción energía está formado por una cesta que incluye: gas natural, carbón, petróleo y electricidad. Ver Apéndice para detalles técnicos.

series de tiempo entre uso, gasto y precio de la energía.

En este trabajo, nos basamos en el paper de Atkeson y Kehoe[1] para simular los datos energéticos de la economía mexicana. Mostramos que el modelo "putty-clay" es adecuado para explicar las variables energéticas de una economía en desarrollo productora y exportadora de petróleo. Los resultados muestran que las correlaciones de los datos y del modelo son similares.

En la segunda sección se muestra la evidencia empírica que fundamenta el comportamiento de uso, gasto y precio de la energía para la economía mexicana. La tercera sección desarrolla el modelo "putty - clay" que incorpora las propiedades que capital y energía son complementarios en el corto plazo y sustitutos en el largo plazo. La cuarta sección muestra la calibración para los parámetros del modelo y su simulación. La quinta 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.

2 Evidencia Empírica

Los datos que utilizamos fueron obtenidos del Sistema de Cuentas Nacionales (www.inegi.gob.mx) y de la Secretaría de Energía (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; del petróleo crudo, carbón y gas natural de la Agencia de Información Energética (www.eia.doe.gob).

La Figura N. [1] presenta el precio de la energía para México y Estados Unidos. La figura muestra que ambos países tienen en términos generales el mismo patrón de precios a lo largo del periodo de tiempo estudiado. La Figura 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 la cuál en ese periodo se caracterizó por tener una creciente deuda externa, devaluación del peso y altas tasas de inflación. Una explicación posible para esta diferencia de precios energéticos entre las dos economías es el tipo de instituciones que tiene cada uno de los países. Por ejemplo, durante la administración del Presidente J. Carter (1977-1981) los impuestos energéticos fueron modificados en Estados Unidos al imponer tasas impositivas en petróleo y productos derivados. Tales impuestos obedecían a varios propósitos. Uno de ellos era reducir el déficit federal, otro de ellos a reducir la dependencia de los Estados Unidos en 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[9]].

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 $P_t^e = \frac{\sum_i Q_{it}P_{it}}{\sum_i Q_{it}P_{i0}}$. Para detalles en la construcción de las variables energéticas, referirse al Apéndice I al final del artículo.

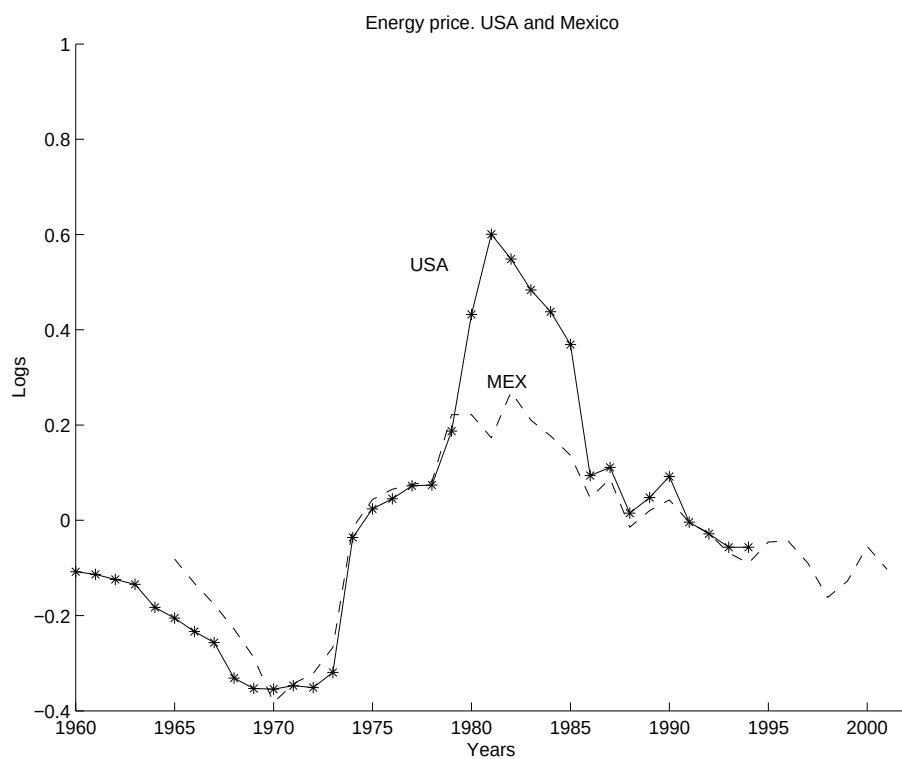


Figure 1: Precio de la energía : USA y México

La Figura N. [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. A diferencia de la economía norteamericana, se observa una tendencia creciente en la pendiente de uso energético. 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. Estas se presentan en la Tabla N. [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 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, mientras que la relación es no existente entre estas dos últimas variables y el precio de la energía. Lo que sugiere este último resultado 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, sugiriendo lo último que los factores de la producción energía y capital son bienes complementarios.

Para analizar la persistencia de las variables energéticas en el tiempo estimamos las auto - correlaciones para 1,2 y 3 periodos. La Tabla N. [2] muestra que las variables son persistentes en el tiempo.

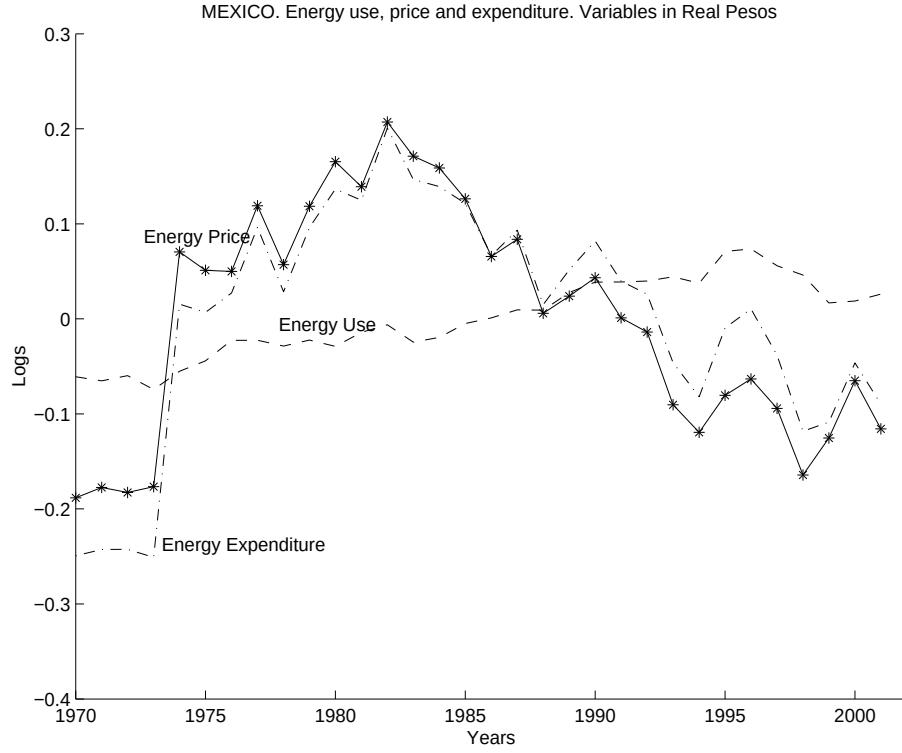


Figure 2: MEXICO: precio, uso y gasto de energía. Pesos

Variables	USA	MEXICO
Energy use - Energy price	0.0448	-0.1016
Energy expenditure - Energy price	0.8405	0.9423
Energy use - Gross Output	0.0409	0.8659
Energy use - Capital	0.1412	0.9180
Energy price - Gross Output	0.5164	-0.0773
Energy price - Capital	0.6070	-0.0882

Table 1: MEXICO: Correlaciones de variables energéticas

Autocorrelations			
Variable	ρ_1	ρ_2	ρ_3
Energy Price	0.8153	0.6517	0.4890
Energy Expenditure	0.7772	0.5833	0.3976
Energy Use	0.9113	0.8106	0.7022

Table 2: MEXICO: Persistencia de variables energéticas

Aplicamos el filtro de Hodrick - Prescott² como un método estándar para extraer la tendencia a las variables energéticas. Al graficarlas con respecto al tiempo, observamos un cambio de tendencia en el año 1981, cuando ocurrió el shock petrolero. La Figura N. [3] muestra el ciclo y la tendencia de las variables energéticas.

3 Un Modelo Putty - Clay

Los modelos "putty - clay" describen atributos diferentes a los modelos de crecimiento neoclásico. Hay algunas deficiencias en los modelos de crecimiento neoclásico de acuerdo a las funciones de producción agregadas: (i) no toman en cuenta la edad y

²El 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:

$$\min_{g_t} \left\{ \sum_{t=1}^T c_t^2 + \lambda \sum_{t=1}^T [(g_t - g_{t-1}) - (g_{t-1} - g_{t-2})]^2 \right\} \quad (2.1)$$

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

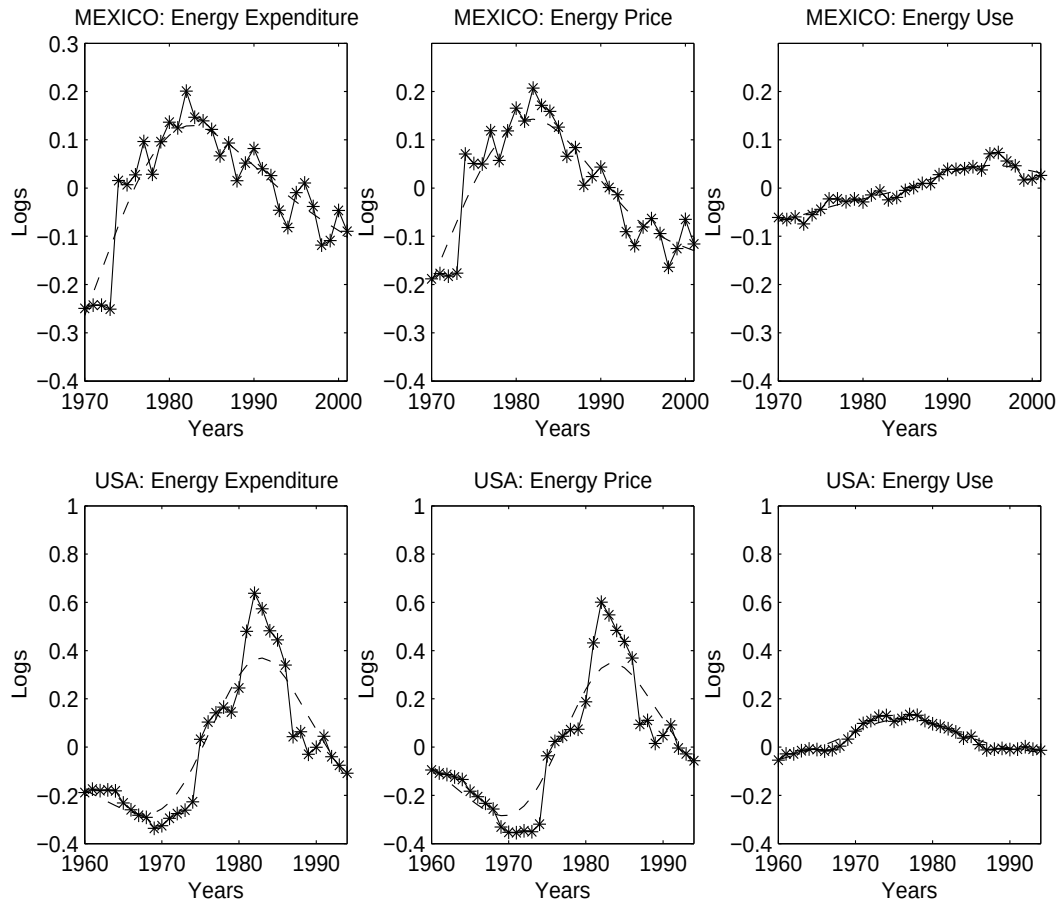


Figure 3: Energy prices, use and expenditure. Data and Trend. USA and Mexico

estructura del capital, (ii) no toman en cuenta el progreso tecnológico o bien se considera no incorporado y (iii) suponen que las posibilidades de sustitución entre factores ex ante y ex post son idénticas.

Como resultado, en los modelos de crecimiento neoclásicos tanto energía como capital se consideran factores homogéneos de producción lo que implica que si el factor energía es fijo, la misma cantidad de producto se puede producir con cada unidad de capital. Sin embargo, si estamos interesados en la edad y estructura del capital debemos de relajar este supuesto de homogeneidad en el capital. En este caso, es esencial agrupar las características del capital de acuerdo a su edad, características técnicas y actividades factibles y usar modelos '*vintage*'³ los cuáles relajan las características arriba mencionadas y son superiores a los modelos de crecimiento tradicionales. 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 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. Los modelos vintage tienen relevancia justamente bajo éstas condiciones. En éstos 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 estos tipos se les conoce como cosechas.

³Se refieren a tomar en cuentas las características del capital a través de "cosechas" de capital que son cualitativa y cuantitativamente distintos.

3.1 Clasificación de Modelos

Desde el punto de vista ex ante, los modelos pueden ser de dos tipos distintos:

- Modelos 'clay', que suponen que en todo momento existe una y sólo una actividad eficiente
- Modelos 'putty', en los cuáles más de una actividad eficiente está disponible de manera simultánea.

En los modelos 'clay' por tanto, 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 elegirían aquélla que más les convenga.

Desde el punto de vista ex post, los modelos pueden ser de dos tipos distintos:

- Modelos 'clay', en los que la tasa eficiente de una pieza instalada de equipo puede cambiar sólo como resultado del cambio técnico no incorporado, ó
- Modelos 'putty', los cuáles suponen que siempre hay más de una combinación de factores entre las cuáles elegir

Mientras que en los modelos 'clay', -además del efecto de cambio técnico no incorporado- la sustitución de factores eficiente ex post no es posible, en los modelos 'putty', los factores de producción pueden ser sustituidos directa y eficientemente.

La unión de las dos clasificaciones resulta en cuatro⁴ modelos: (1) 'clay-clay', (2) 'putty-clay' y (3) 'putty-putty'. En el primer

⁴En realidad tres modelos en cuanto a la interpretación económica.

caso, energía y capital no pueden ser sustituidos eficientemente ex ante y ex post. Por lo tanto, las funciones de producción agregadas son de tipo Leontief, suponiendo que el progreso técnico es parcialmente incorporado y parcialmente no incorporado. En el segundo caso, no hay posibilidad de sustitución ex post por lo tanto la función de producción es también tipo Leontief. Sin embargo, hay al menos dos técnicas eficientes ex ante de tal manera que la función de producción ex ante no es más de este tipo. Finalmente, 'los modelos putty - putty' postulan que capital y energía se pueden sustituir eficientemente ex ante y ex post.

3.2 El Modelo

En esta sección describimos el ambiente. Utilizamos un modelo 'putty - clay' caracterizado por la complementariedad entre los factores de la producción capital y energía e irreversibilidad una vez 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 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[1] analizan la intensidad energética en un modelo 'putty - clay' en el cuál 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. A medida que pasa el tiempo, nuevos bienes de capital que utilizan menos energía 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. El mensaje de Atkeson y Kehoe[1] es que la complementariedad entre capital y energía es necesaria en el corto plazo para replicar el comportamiento de precio, uso y gasto en energía observado en los datos.

3.2.1 Los Hogares

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

$$\max E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U(c_t) \quad (3.1)$$

donde c_t es consumo y β 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.

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:

$$z_{t+1} = (1 - \delta)z_t + \int_v x_t(v) \frac{f(v)}{v} dv \quad (3.2)$$

$$m_{t+1} = (1 - \delta)m_t + \int_v x_t(v) \frac{1}{v} dv \quad (3.3)$$

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. δ es 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. Es posible agregar los servicios de capital y energía si se supone (i) que todos los tipos de capital de tipo v son totalmente utilizados en equilibrio y (ii) existe inversión en cada periodo en un solo tipo de capital. Este resultado permite omitir "la maldición de la dimensionalidad" que resulta cuando se analizan una gran variedad de bienes de capital y de restricciones no negativas en la inversión (Ver el Apéndice III para detalles técnicos). Las restricciones anteriores permiten agregar la economía de la siguiente manera:

$$z_{t+1} = (1 - \delta)z_t + x_tv^{-s_e} \quad (3.4)$$

$$m_{t+1} = (1 - \delta)m_t + x_tv^{-1} \quad (3.5)$$

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.

3.2.2 Ambiente Estocástico

Supondremos que los precios de la energía se determinan en mercados internacionales a un precio exógeno dado - p_t -. Tomando como referencia trabajos previos [Finn[12], Kim y Loungani[19], Atkeson y Kehoe[1] y Díaz, Puch y Guilló[11]], el precios de la energía tiene un proceso estocástico ARMA (1,1) definido como:

$$\log p_{t+1} = (1 - \rho) \log \bar{p} + \rho \log p_t + \phi \epsilon_t + \epsilon_{t+1} \quad (3.6)$$

Donde $\epsilon_t \sim N(0, \sigma_\epsilon^2)$ y $\bar{p}$ es el precio promedio de la energía.

3.2.3 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 maximiza [3.1] sujeto a [3.4], [3.5] y

$$c_t + x_t = z_t^{1-s_L} - p_t m_t \quad (3.7)$$

con k_0 dado, $\ell_t = 1$ y el proceso de precios estocástico [3.6] 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.

3.2.4 El Problema del Planificador Central

El agente representativo maximiza [3.1] sujeto a [3.4], [3.5] y [3.7]. El sistema de estado estacionario y el sistema linearizado se presentan en el apéndice II.

4 Calibración

Los parámetros a estimar son la tasa de depreciación del capital - δ -, el factor de descuento inter temporal - β - 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 β y δ se obtuvieron a partir de las condiciones de primer orden del modelo. La Tabla N. [3] muestra los resultados de varios

trabajos previos para la economía mexicana. Como se observa, los parámetros estimados coinciden con los de la literatura.

	β	δ	s_l	s_e	s_k	$\frac{C}{Y}$	$\frac{I}{Y}$	$\frac{G}{Y}$
Bergoeing, etal[5]	0.98	0.05	0.42	*	0.30	*	*	*
Mendoza[22]	.0076	*	*	*	0.364	0.684	0.217	0.092
Cole and Kehoe[8]	0.97	0.05	*	*	0.4	*	0.23	0.15
Meza[23]	0.957	0.061	*	*	*	*	*	*
Bejan[4]	0.996	0.028	*	*	0.036	0.038	*	*
This work ⁵	0.97	0.05	0.35	0.012	0.316	0.775	*	*

Table 3: MEXICO. Comparación con otros trabajos

Sin embargo, trabajos recientes [García – Verdú (2005)] han enfatizado que no hay razón para suponer que las economías norteamericana y mexicana tienen distintas propiedades tecnológicas. Por esta razón, se utilizaron los mismos parámetros que la economía norteamericana para las simulaciones. Los parámetros son los mismos que los utilizados en los trabajos de Atkeson y Kehoe[1] y Díaz, Puch y Guilló[11]. La Tabla N. [4] presenta los parámetros para la simulación del modelo.

5 Resultados

Esta sección presenta los resultados obtenidos de la simulación del modelo "putty – clay" para la economía mexicana. Las correlaciones del modelo se presentan en la Tabla N. [5].

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

Parameter	Values
β	0.96
δ	0.10
s_e	0.043
s_L	0.57
ρ	0.8923
$\bar{p}$	0.8926
ϕ	0.3427
σ_ϵ	0.0866

Table 4: MEXICO. Calibración de los parámetros del modelo

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, aun 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 influenciaría la decisión de las firmas a sustituir el capital existente hacia aquéllos bienes de capital que requirieran menos unidades de energía por unidad de capital, las correlaciones sugieren que éste no es el caso.

La Figura N. [4] presenta las simulaciones del modelo. La figura 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 al gasto de energía es la variable que absorbe los cambios en los precios de la energía. Así, el modelo replica los datos.

La figura N. [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

Mexico		
Variables	Model	Data
Energy Price - Energy Use	-0.6316	-0.1016
Energy Price - Energy Expenditure	0.9997	0.9423
Energy Price - Gross Output	0.8240	0.8659
Energy Use - Capital	0.6290	0.9180
Energy Use - Gross Output	0.2612	-0.0773

Table 5: MEXICO. Correlaciones de la economía Mexicana. Datos y modelo

$\frac{k_t}{e_t}$ 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.

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.

6 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.

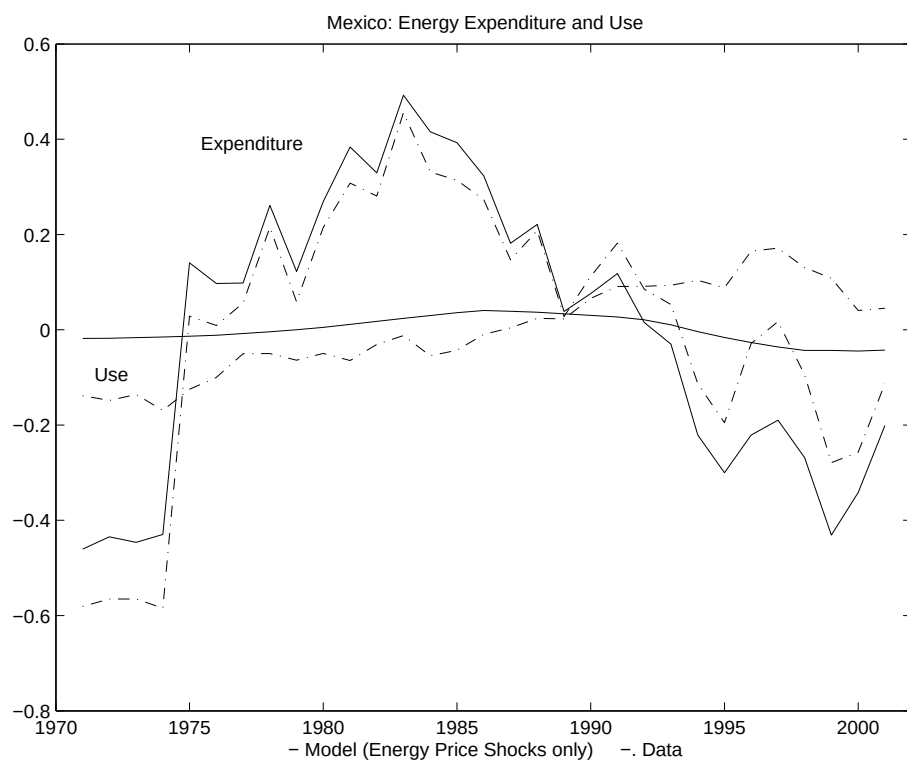


Figure 4: MEXICO. Uso y gasto de energía. Modelo y datos

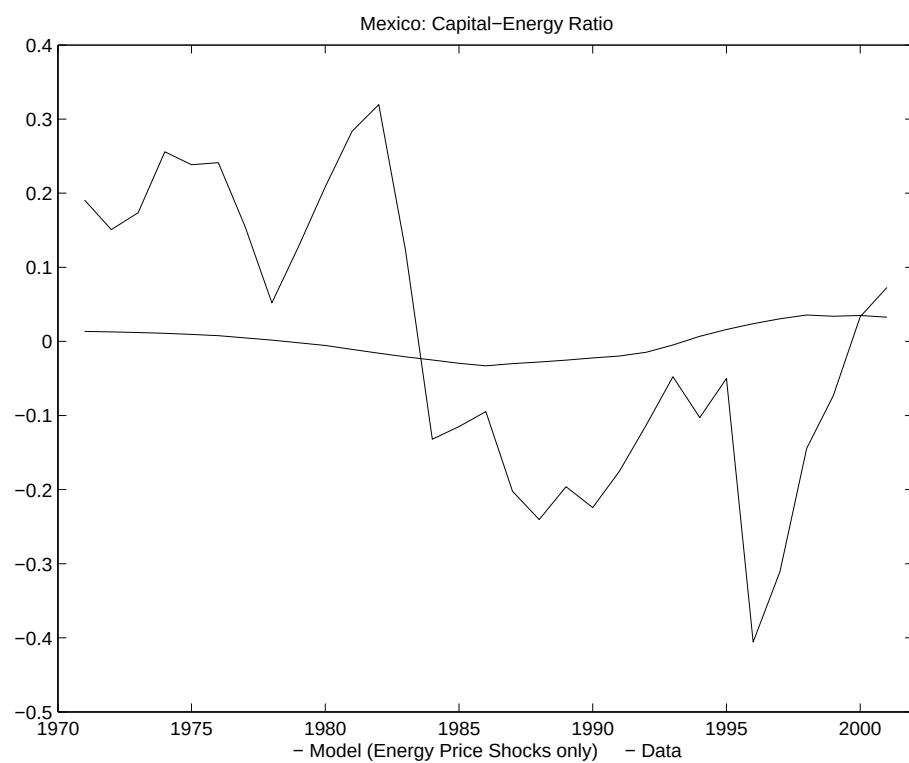


Figure 5: MEXICO. Relación Capital / Energía. Modelo y datos

Una característica del modelo utilizado - creado inicialmente para una economía desarrollada e importadora de capital -, es que es adecuado para explicar las series de uso, 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. Mas aun, el modelo predice adecuadamente el comportamiento de las correlaciones entre uso y precio de la energía y particularmente el de precio y gasto de la energía.

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 norteamericana.

Aun cuando el modelo es adecuado para la economía mexicana, hay cuestiones que pueden modificarse. La primera es explicar la tendencia positiva que se observa en el uso de la energía. La segunda se refiere a la diferencia de precios con respecto a la economía norteamericana en el periodo 1980-1987. Esto último se refiere a las instituciones existentes en las economías. 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 de tomarse en cuenta dado que la economía mexicana es productora de petróleo.

References

- [1] Atkeson, A. and P. Kehoe (1999) Models of Energy Use: Putty-putty versus Putty-clay, *American Economic Review* Vol 89, n.4. 1028-1043.
- [2] Backus, D. and Crucini (1998) Oil Prices and the terms of trade. NBER Working Paper 6697.
- [3] Barro, R.J. (1998) Notes on Growth Accounting. NBER Working Paper 6654.
- [4] Bejan, M. (2004) Some Business Cycle Consequences of Trade Agreements: Case of North American Free Trade Agreement (NAFTA. Working Paper
- [5] Bergoeing, Kehoe, Kehoe and Soto (2002) A decade lost and found: Chile and Mexico in the 1980's. *Review of Economic Dynamics* 5. 166-205.
- [6] Berndt, E.R. and D.O. Wood (1975) Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy, *Review of Economics and Statistics* 57(3) p. 259-268.
- [7] Berndt, E.R. and D.O. Wood (1979) Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementarity, *The American Economic Review*, 69(3) p.342-354
- [8] Cole H, and T. Kehoe (1996) A self-fullfilling model of Mexico's 1994-1995 Debt Crisis. Federal Reserve Bank of Minneapolis. Research Department Staff Report 210. April.
- [9] Congress of the United States (1996) The Budgetary and Economic Effects of Oil Taxes. Congressional Budget Office. April.

- [10] Cooley, T. and E. Prescott. "Economic Growth and Business Cycles" in Thomas F. Cooley, ed. *Frontiers of Business Cycle Research*. Princeton University Press. p. 1–38.
- [11] Díaz, A., L.A. Puch and M. Guilló (2004) Costly Capital Reallocation and Energy Use, *Review of Economic Dynamics*, 7.
- [12] Finn, M.G. (1996) Variance properties of Solow's productivity residual and their cyclical implications, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 57(19)
- [13] 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
- [14] García-Verdú, R. (2005) Factor Shares from Household Survey Data. unpublished mimeo.
- [15] Griffin, J.M. and Gregory, P.R. (1976) An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses *The American Economic Review*, 66(5), p. 845–857.
- [16] Hudson, E.A. and 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.
- [17] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2004) Indicadores del Sector Energético. Banco de Información Económica. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- [18] Kehoe, T. (1995) A Review of Mexico's Trade Policy from 1982 to 1994. *The World Economy*, (18), 135-51.

- [19] Kim, I.M. and P. Loungani (1992) The role of energy in real business cycle models, *Journal of Monetary Economics*, 29(2).
- [20] King, R., C. Plosser and S. Rebelo (2002) Production, Growth and Business Cycles: Technical Appendix, *Computational Economics*, October.
- [21] Magnus, J.R. (1979) Substitution between Energy and Non-Energy Inputs in the Netherlands 1950-1976, *International Economic Review*, 2(20) p. 465–484.
- [22] Mendoza, E. (2000) Credit, Prices and Crashes: Business Cycles with a Sudden Stop.
- [23] Meza, F. (2003) Fiscal Policy and the Contraction of Real Activity in Mexico in 1995. Federal Reserve Bank of Minneapolis. Research Department.
- [24] Oliveira, A. (2002) Are Mexican Business Cycles Asymmetrical? IMF Working Papers. WP/02/150.
- [25] Pindyck, R. S. and J. Rotemberg (1983) Dynamic Factor Demands and the Effects of Energy Price Shocks, *American economic Review*. Vol. 73, n.5. 1066-1079
- [26] Secretaría de Energía (2001). Balance nacional de Energía, 2000.
- [27] Solow, J. (1987) The Capital-Energy Complementarity Debate Revisited, *American Economic Review*. Vol.77, N. 4. 605-614

7 Apéndice I

7.1 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 petajoules⁶. Le llamamos Q_{it}^{Tot} 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_{it}^{Tot} es el uso de energía neto del sector industrial⁷. 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 está 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. Dado que el valor absoluto del consumo de energía de estos sectores (carbón y petróleo) es relativamente pequeño - $\frac{1}{60}$ aproximadamente - de consumo total, las aproximaciones que se utilizan aquí no afectan las series agregadas.

⁶1 petajoule es equivalente a 0.94708 miles de barriles de petróleo crudo.

⁷México: consumo de combustibles para generación de electricidad del SEN y capacidad instalada por tipo.

La construcción de la medida de precios constantes es estándar. Elegimos el año base 1995 y definimos el uso de energía como $e_t = \sum Q_{it}P_{i0}$ donde P_{i0} 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 $P_t = \frac{\sum_i Q_{it}P_{it}}{\sum_i Q_{it}P_{i0}}$. Finalmente, Finalmente. El gasto nominal de energía está definido como $P_te_t = \sum_i Q_{it}P_{it}$. 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.

7.2 Producción, Consumo, Inversión y Capital

Atkeson y Kehoe[1] y Díaz, Puch y Guilló[11] siguen la metodología de Cooley y Prescott[10] 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, supusimos 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: $P_te_t = \sum_i Q_{it}P_{it}$. 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.

8 Apéndice II

8.1 El Estado Estacionario

El siguiente sistema de ecuaciones caracteriza las asignaciones de estado estacionario para esta economía.

$$v(1) = z^{-s_l} - \left(\frac{1}{\beta} - (1 - \delta)\right) * \frac{q}{1 - s_l} \quad (8.1)$$

$$v(2) = v^{s_e-1} - \left(\frac{1}{\beta} - (1 - \delta)\right) * \frac{s_e q}{p} \quad (8.2)$$

$$v(3) = q - \frac{v^{s_e}}{(1 - s_e)} \quad (8.3)$$

$$v(4) = c + x - z^{1-s_l} + pm \quad (8.4)$$

$$v(5) = x - \frac{z\delta}{v^{-s_e}} \quad (8.5)$$

$$v(6) = m - \frac{x}{\delta v} \quad (8.6)$$

8.2 Linearización

A partir del trabajo de King, Plosser y Rebelo[20] el siguiente paso es linearizar el sistema a partir de las ecuaciones de Euler y de las restricciones del modelo.

- Ecuaciones de Euler

$$\frac{q_t}{c_t} = \beta \frac{1}{c_{t+1}} [(1 - s_l) z_{t+1}^{-s_l} + q_{t+1} (1 - \delta)]$$

$$\frac{q_t}{c_t} s_e v_t^{1-s_e} = \beta \frac{1}{c_{t+1}} [q_{t+1} s_e v_{t+1}^{1-s_e} (1 - \delta) + p_{t+1}]$$

Las restricciones de la economía están dadas por las ecuaciones siguientes:

$$c_t + x_t = z_t^{1-s_l} - p_t m_t$$

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

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

La aproximación de Taylor de primer orden alrededor del estado estacionario da como resultado el siguiente sistema linealizado.

$$\widehat{q}_t - \widehat{c}_t = E_0[-\widehat{c}_{t+1} + \beta(1 - \delta)\widehat{q}_{t+1} - \frac{\beta}{q^*} s_l (1 - s_l) z^{-s_l} \widehat{z}_{t+1}] \quad (8.7)$$

$$\widehat{q}_t - \widehat{c}_t + b_1 \widehat{v}_t = -\widehat{c}_{t+1} + b_2 \widehat{q}_{t+1} + b_3 \widehat{v}_{t+1} + b_4 \widehat{p}_{t+1} \quad (8.8)$$

$$c^* \widehat{c}_t + x^* \widehat{x}_t = (1 - s_l) z^{1-s_l} \widehat{z}_t - m^* p^* \widehat{p}_t - m^* p^* \widehat{m}_t \quad (8.9)$$

$$z^* \widehat{z}_{t+1} = (1 - \delta) z^* \widehat{z}_t - s_e v^{-s_e} \widehat{v}_t + x^* v^{-s_e} \widehat{x}_t \quad (8.10)$$

$$m^* \widehat{m}_{t+1} = (1 - \delta) m^* \widehat{m}_t + x^* v^{-1} \widehat{x}_t - x^* v^{-1} \widehat{v}_t \quad (8.11)$$

donde,

$$\begin{aligned} b_1 &= (1 - s_e)v^{-1} \\ b_2 &= \beta(1 - \delta) \\ b_3 &= \beta(1 - s_e)(1 - \delta) \\ b_4 &= \frac{\beta}{q^*} \frac{1}{s_e v^{1-s_e}} \end{aligned}$$

9 Apéndice III

Para resolver el modelo, seguimos la solución que se muestra en las siguientes Proposiciones:

Proposición 1: Una Regla de Corte. *Dado un vector de stock de capital k_t y precios de la energía p_t , hay un tipo de corte de capital $v^*(k, p)$, tal que todo el capital de tipo $v > v^*(k, p)$ está utilizado completamente t y el capital de tipo $v < v^*(t)$ no se utiliza completamente. El nivel de intensidad de corte (v_t^*) es creciente en p_t . [Atkeson y Kehoe[1]]*

Esto es, dado cualquier nivel de salarios, precios y vector de capital existentes, existe un "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

Proposición 2: Un Problema Equivalente. *Dado un nivel inicial en el stock de capital, los servicios de capital y los servicios de energía agregados - k_0 , z_0 y*

m_0 - sean $\{z_{t+1}, m_{t+1}, x_t, c_t, y_t\}$ la solución al problema restringido. Sea $\{\hat{k}_{t+1}, \hat{x}_t, \hat{e}_t, \hat{z}_t, \hat{c}_t, \hat{m}_t, \hat{y}_t\}$ la solución candidato al problema original. Sea $\hat{V}_t$ el conjunto de tipos de capital v tales que $k_t(v) > 0$. Si $v > v_t^*$ para todo $v \in \hat{V}_t$, con v_t^* definido como en la Proposición 1, entonces nuestra solución candidata resuelve el problema original y es un equilibrio para el modelo.[Atkeson y Kehoe[1]]

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.

Proposición 3: Un solo tipo de inversión. *Dados $\{k_0, z_0$ y m_0 , sean $\{x_t, z_{t+1}, m_{t+1}, y_t, c_t\}$ la solución al problema restringido. Entonces, $x_t(v) > 0$ para un máximo de capital tipo v .*

En el problema de programación dinámica, hay cuando más un tipo de capital con inversión positiva, aún cuando los precios de la energía son estocásticos. Estos resultados dan un algoritmo simple para computar el equilibrio en aplicaciones: primero se resuelve el problema simplificado de programación dinámica para obtener una solución candidato y después se calcula la regla de corte correspondiente a esta solución para verificar que la solución efectivamente satisface el supuesto de utilización completa.

Las Proposiciones [1] y [2] hacen posible agregar los

servicios de capital y de energía.

Se utiliza la solución a este problema restringido para construir una solución candidato al problema original. Sea $\{z_{t+1}, m_{t+1}, x_t, c_t, y_t\}$ 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 $\{k_{t+1}, x_t, e_t, z_t, m_t, c_t y_t\}$ de esta manera satisface las restricciones del problema original [Atkeson y Kehoe, (1999)].