



## *Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana*

Claudia S. Gómez-López

Departamento de Economía y Finanzas, Universidad de Guanajuato, México

### **Introducción**

El estudio del ciclo económico y las fluctuaciones en las medidas agregadas de la actividad económica constituyen uno de los principales temas de estudio de la macroeconomía. La mayoría de los economistas estaría de acuerdo en que existe una gran cantidad de variables macroeconómicas sobre las cuáles hay interés en sus fluctuaciones económicas. El estudio de las fluctuaciones económicas tradicionalmente utiliza variables reales para encontrar relaciones de las variables macroeconómicas y pocas veces toma en cuenta variables nominales [Sims, (17) y (20)]. Al mismo tiempo, la metodología de las series de tiempo ha estudiado variables nominales con variables reales al intentar identificar los shocks de variables nominales sobre las primeras [Wickens y Motto, (22)]. En la literatura encontramos que estos dos enfoques no siempre comparten el mismo punto de vista, de facto; hay rivalidad entre ambas metodologías. En este trabajo, utilizamos ambas metodologías para probar la relación existente entre el crecimiento económico, el consumo de energía y las emisiones de  $CO_2$ .

Existe una relación entre crecimiento, uso de energía y emisiones contaminantes en cualquier economía. Existen estudios que han analizado las variables, sin embargo, estos trabajos se han realizado para economías en desarrollo y emergentes, pero no para el caso de la economía mexicana. Las investigaciones relacionadas no tienen algún resultado determinante. Hay trabajos que encuentran que existe una relación bidireccional entre crecimiento económico y consumo de energía para algunas economías [Shyamal P. and

R.N. Bhattacharya (13), Cheng, B.S. and Tin Wei Lai (3), Asafu-Adjaye, J. (1)<sup>1</sup>, Soytas, U. and R. Sari (21)<sup>2</sup> y Lee, Ch.(10)<sup>3</sup>]; otros encuentran que crecimiento en el PIB causa en el sentido de Granger consumo de energía [Soytas, U. and R. Sari (21)<sup>4</sup>] y finalmente se encuentra también una causalidad en el sentido de Granger de consumo de energía hacia crecimiento económico [Soytas, U. and R. Sari (21)<sup>5</sup> y Lee, Ch. (10)<sup>6</sup>].

El objetivo de este artículo es analizar la relación entre crecimiento económico, consumo de energía y las emisiones contaminantes de en la economía mexicana. El análisis se realizó a nivel agregado para toda la economía nacional. Los objetivos principales del artículo se estudian a través de tres herramientas estándar: las fluctuaciones económicas (RBC por sus siglas en inglés) y por el análisis de los vectores autoregresivos (VAR's) con las pruebas de causalidad de Granger y las funciones de impulso respuesta. Utilizamos la metodología del estudio de los ciclos económicos porque permite observar la correlación, volatilidad, persistencia y en su caso el papel (variable líder o rezagada) de las variables económicas reales de la economía. Complementamos esta metodología con la utilización de los vectores auto regresivos (VAR's) para analizar la causalidad y el estudio en

1 Este autor encuentra que existe causalidad de energía hacia ingreso en el caso de la economía India e Indonesia mientras bidireccionalidad de Granger en el caso de Tailandia y Filipinas.

2 Argentina

3 Estados Unidos

4 Italia y Corea

5 Turquía, Francia, Alemania y Japón.

6 Canadá, Bélgica, Holanda y Suiza.



el tiempo de las variables antes mencionadas. Finalmente, las funciones de impulso respuesta nos permiten analizar de manera dinámica las variables de la economía tomando en cuenta los shocks de otras variables (endógenas o exógenas) de la economía. La sección II presenta la evidencia empírica encontrada para la economía mexicana durante 1980 - 2005, periodo de tiempo para el que hay datos disponibles de consumo de energía desagregado por energético fósil y sector de utilización, crecimiento económico y emisiones de gases de efecto invernadero, desagregadas por energético. Encontramos que existe una relación directa entre crecimiento económico y emisiones contaminantes. La sección III presenta la metodología utilizada para probar la hipótesis que a mayor crecimiento económico, mayor consumo de energías fósiles en la economía mexicana. La sección IV presenta los resultados obtenidos de la metodología utilizada y finalmente la sección V presenta las conclusiones de este trabajo.

### **Evidencia Empírica**

El objetivo de este apartado es mostrar la evidencia empírica encontrada de la relación existente entre crecimiento económico, uso de energía y emisiones contaminantes. La relación más directa que existe entre las variables es: para lograr el crecimiento económico, se necesitan cada vez mayores cantidades de energéticos fósiles (petróleo, gas natural y carbón, entre otros) que se combinan con otros factores de la producción (capital y trabajo) en distintas proporciones. Como subproducto de la producción y del consecuente uso de energía, se encuentran las

emisiones contaminantes que se expanden en el medio ambiente. Dada la escasez de datos disponibles, sólo se encuentran disponibles las emisiones de por tipo de energético para el periodo 1980 - 2005.

El periodo de tiempo analizado en la economía mexicana es el de 1980 - 2005 y las fuentes de datos consultadas son las del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), estadísticas financieras del Fondo Monetario Internacional (IMF) y la Energy Information Administration (EIA).

Existe una relación positiva a mayor crecimiento económico, mayor consumo de energías fósiles y mayor número de emisiones contaminantes ( $CO_2$ ). Esto se muestra en las figuras 1 a 3. Las correlaciones para el crecimiento de la economía y el consumo de energía son  $\rho_{y, \Delta CE} = 0.978$ ; para el caso de consumo de energía y emisiones de el coeficiente de correlación es  $\rho_{CE, \Delta CO_2} = 0.993$  y finalmente,  $\rho_{y, \Delta CO_2} = 0.98$  es el coeficiente de correlación entre crecimiento económico y crecimiento de las emisiones de  $CO_2$ . Así, los coeficientes de correlación indican que en el periodo 1980 - 2005 existe una relación positiva para la economía mexicana entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. Lo anterior se observa en las figuras 1 a la 3 que confirman el valor de las correlaciones arriba indicadas. Así, crecimiento, consumo de energía y emisiones de  $CO_2$  son variables procíclicas en cualquiera de los pares analizados. De acuerdo a las figuras a las que hacemos referencia observamos *a priori* que: (i) el PIB antecede al consumo de energía y las emisiones de  $CO_2$  para la economía mexicana y (ii) el consumo de energía antecede a las emisiones de  $CO_2$ .



Figura 1. Crecimiento económico per cápita vs. Consumo de Energía per cápita. 1980 -2005

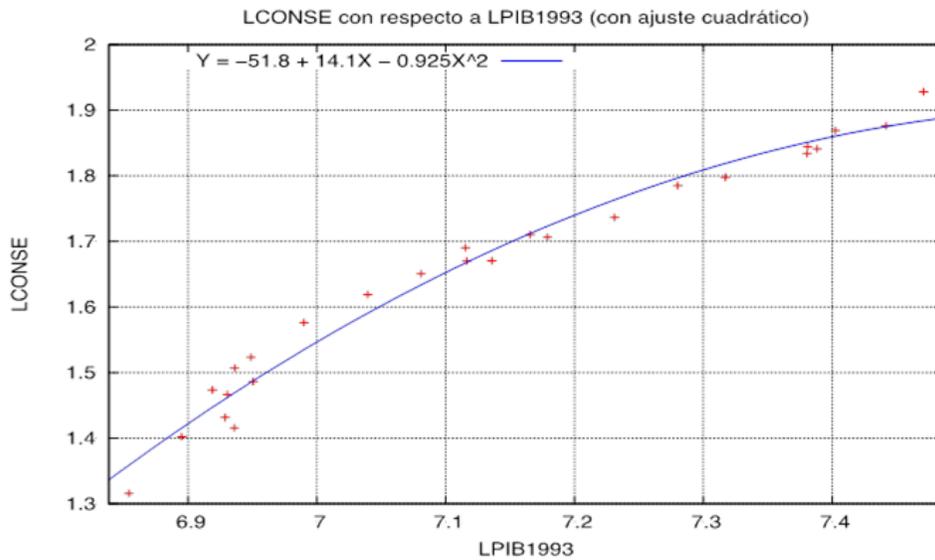


Figura 2. Consumo de energía primaria per cápita vs. Emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita. 1980 -2005

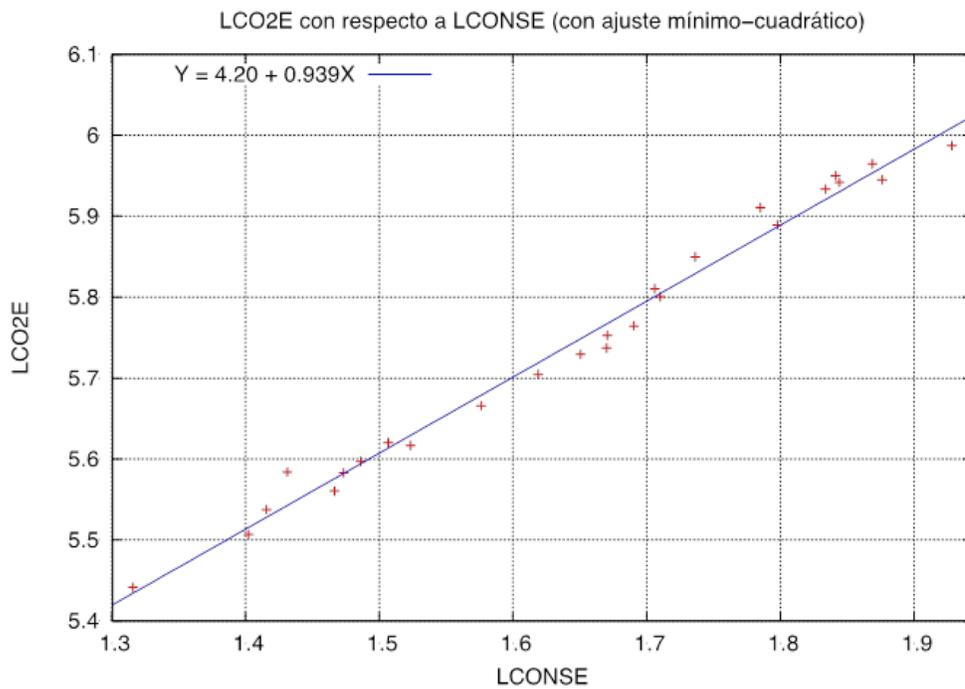
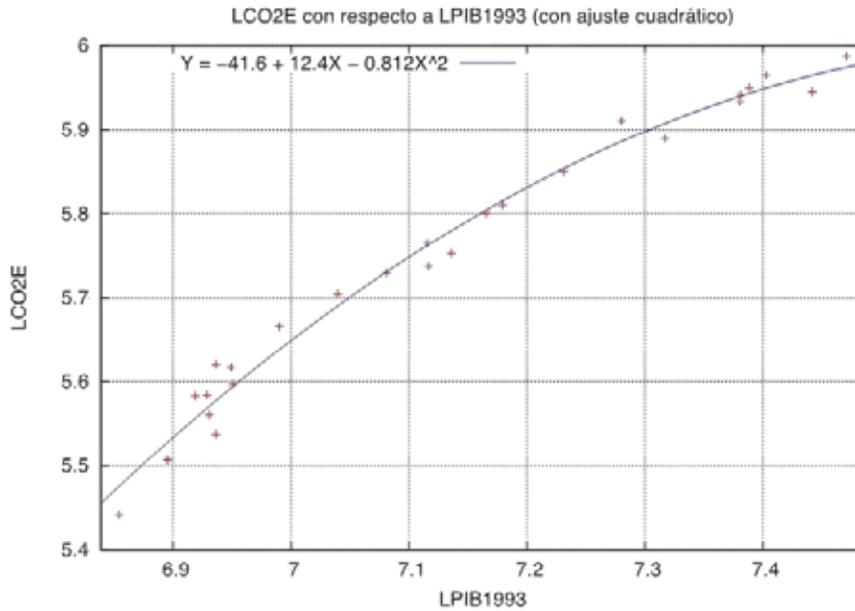


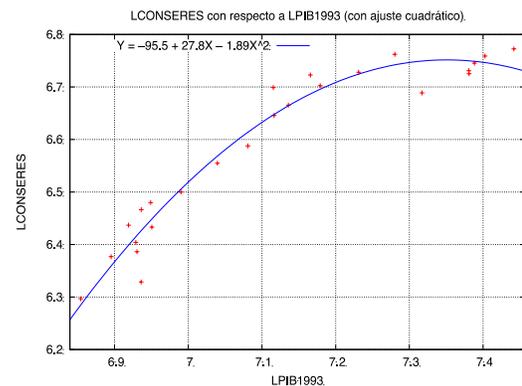


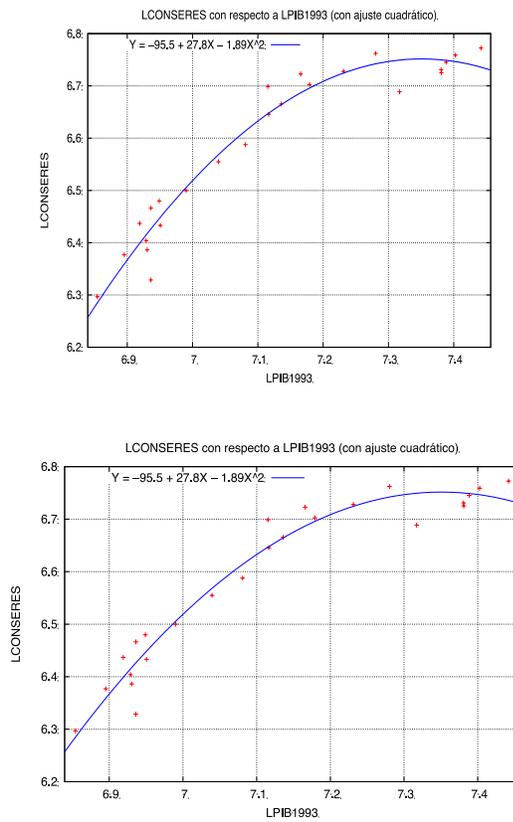
Figura 3. Crecimiento económico y Emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita. 1980 -2005



Sectorialmente, las actividades económicas de transporte y la residencial, comercial y público son las que a mayor crecimiento se observa mayor consumo de energía. La figura 4 muestra la relación siempre positiva entre el crecimiento del PIB a precios de 1993 y el consumo de energía de los sectores industrial; residencial, comercial y público y transporte. La tabla 1 muestra las correlaciones entre crecimiento económico y el consumo de energía de estos sectores económicos. El valor de los estadísticos confirma lo encontrado en los gráficos: los sectores transporte y residencial, comercial y público tienen una correlación muy alta con el crecimiento económico. Resulta interesante encontrar que el sector industrial, que *a priori* es el que utiliza mayor cantidad de energía no tenga una correlación con el crecimiento económico tan alto como el resto de los sectores económicos

Variables	Coefficientes de Correlación
$\square PIB, \square CE_{industrial}$	0.776
$\square PIB, \square CE_{residencial}$	0.908
$\square PIB, \square CE_{transporte}$	0.970





y consumo de energía primaria por sector de actividad.

Figura 4. Crecimiento económico vs. Consumo de energía primaria por sector de actividad. 1980 -2005 Este análisis preliminar nos permite únicamente establecer si existe o no una relación entre dos variables. Para ello, consideramos otras metodologías que nos ayuden a contestar otro tipo de preguntas. Por ejemplo: (i) ¿es el crecimiento económico el que ocasiona consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> o viceversa? , (ii) ¿se puede hablar de causalidad existente entre estas variables?. Si es posible, ¿Cuál es la relación entre éstas? , (iii) ¿qué tipo de evidencia se encuentra para la economía mexicana? ¿Coincide con los estudios llevados a cabo previamente?

### Ciclos Económicos

A continuación, presentamos brevemente la metodología de series de tiempo y ciclos económicos

que utilizamos para estudiar la relación entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Aplicamos el filtro de Hodrick – Prescott (9) como un método estándar para extraer la tendencia y el ciclo a las variables consideradas en este trabajo. El filtro HP supone que las series de tiempo ( $X_t$ ) pueden ser descompuestas en su componente tendencial ( $g_t$ ) y su componente cíclico ( $c_t$ ):  $X_t = g_t + c_t$ . 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)

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

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 mas suave y en el caso extremo en el que este parámetro tienda a infinito tendremos como solución una línea recta.

### Vectores Auto Regresivos (VAR's)

Los vectores auto regresivos (VARs) se han establecido rápidamente como una forma dominante de economía empírica. La flexibilidad de la formulación de los (VARs) permite una descripción y análisis de una gran variedad de fenómenos económicos reales y es también un marco uniforme con el cuál analizar teorías alternativas. Los VARs son útiles para entender de mejor manera la interacción entre distintas variables.

La forma básica de un VAR de orden  $p$ -th entre dos variables  $x$  y  $y$  se muestra por la siguiente ecuación

$$2) \quad y_t = y_0 + a_{11}x_{t-1} + \dots + a_{1p}x_{t-p} + b_{11}y_{t-1} + b_{1p}y_{t-p} + \epsilon_t$$



El orden del VAR se refiere al número de periodos en cada ecuación.  $e_{1t}$  y  $e_{2t}$  son los residuales gaussianos que podrían estar correlacionados. Al estimar un VAR tenemos dos dificultades. La primera es las variables que debemos de incluir en el análisis. La segunda se refiere a decidir el orden del VAR.

En este trabajo incluimos la siguiente especificación, acorde con las hipótesis planteadas: (i) el crecimiento económico ocasiona aumento en el consumo de energía y (ii) el consumo de energía genera crecimiento económico.

$$(4) \quad \begin{aligned} y_t &= y_0 + a_{11}ce_{t-1} + \dots + a_{1k}ce_{t-k} + b_{11}y_{t-1} + b_{12}y_{t-2} + \dots + b_{1k}y_{t-k} + e_{1t} \\ ce_t &= ce_0 + a_{12}x_{t-1} + \dots + a_{1k}x_{t-k} + b_{12}ce_{t-1} + b_{13}ce_{t-2} + \dots + b_{1k}ce_{t-k} + e_{2t} \end{aligned}$$

donde  $y_t$  es el producto interno bruto en el año  $t$  y  $ce_t$  es consumo energético total en el año  $t$ .

Adicionalmente, nos interesa conocer la relación y la causalidad existente entre consumo de energía y emisiones contaminantes.

El marco de los VARs es popular también por los desarrollos teóricos significativos que mejoran el modelo básico. Una de estas aportaciones es la prueba de causalidad de Granger (6) y complementada por Hosoya (8). La causalidad en el sentido de Granger se refiere a la predictibilidad de una variable  $X(t)$ , donde  $t$  es un número entero, de su propio pasado, de alguna otra variable  $Y(t)$ , y posiblemente de un vector  $Z(t)$  de variables auxiliares, un periodo adelante: más precisamente, decimos que  $Y$  causa  $X$  en el sentido de Granger si la observación de  $Y$  hasta el periodo  $t$  ( $Y(\tau : \tau \leq t)$ ) puede ayudar a predecir  $X(t+1)$  cuando las observaciones correspondientes de  $X$  y  $Z$  están disponibles ( $X(\tau), Z(\tau) : \tau \leq t$ ) [Dufour and Renault, (5)]. En este trabajo exploramos la hipótesis que el crecimiento económico causa consumo de energía (consumo de energéticos fósiles) en el sentido de Granger si y solo si las variables rezagadas del producto tienen poder predictivo al

pronosticar el consumo de energía. En la práctica, la prueba si crecimiento económico causa en el sentido de Granger consumo de energía implica probar si los coeficientes de crecimiento rezagados en la ecuación del consumo de energía son significativos. Probamos para ello las hipótesis,

$$\begin{aligned} H_0 &= \\ H_1 &= a_{11} = \dots = a_{1k} = 0 \\ \text{y} \quad &\text{Crecimiento económico no causa en el sentido} \\ &\text{de Granger consumo de energía} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_0 &= \\ H_1 &= b_{12} = \dots = b_{1k} = 0 \end{aligned}$$

Consumo de energía no causa en el sentido de Granger crecimiento económico

No hay estudios que hayan analizado estas relaciones para la economía mexicana. Sin embargo, si hay estudios a nivel mundial tanto para países desarrollados y economías en transición que lo analizan. Algunos de los trabajos encuentran una causalidad en doble sentido entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de contaminantes.

Adicionalmente, utilizamos las funciones de impulso respuesta como una herramienta práctica para ver las interacciones de las variables en el sistema económico. En concreto, identifican las respuestas dinámicas de la economía ante shocks externos. Se utilizan las funciones de impulso respuesta para mostrar cómo los shocks fundamentales en la economía influyen sobre otras variables del sistema económico.

## Resultados

Al estimar el ciclo económico de las variables observamos que existe prociclicidad entre el PIB y el consumo de energía en la economía mexicana, Figura [5]. De la misma forma, prácticamente todas las variables tanto del consumo de energía por sector como de las



emisiones de  $CO_2$  son procíclicas con el crecimiento del PIB, excepto las emisiones de  $CO_2$  del carbón. Las variables con un coeficiente de correlación más alto con respecto al PIB son el consumo de energía total y las emisiones totales de  $CO_2$  lo que reafirma la hipótesis planteada al principio: existe una relación directa y positiva entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de  $CO_2$ . La variable que según el coeficiente de correlación contemporánea en  $t$  es contracíclica al PIB son las emisiones de  $CO_2$  provenientes del carbón. Una razón es la disminución en este energético fósil hacia la utilización de otros energéticos alternativos. Es también relevante el coeficiente de correlación bajo entre crecimiento económico y el consumo de energía en los sectores industrial y residencial. La baja correlación entre el PIB y estas variables sugieren la relación complementaria entre capital y energía, es decir, baja sustitución - al menos - en el corto plazo entre estos dos factores de la producción. La medición de los ciclos económicos se muestra en la tabla 2.

Las variables con mayor volatilidad respecto al PIB son las emisiones de  $CO_2$  del gas natural y del carbón seguidas por el consumo de energía de los sectores industrial y transporte. Esto nos indica que por cada unidad de crecimiento económico, el consumo de energía aumenta más que proporcionalmente en los sectores mencionados. También, respecto a la

volatilidad es relevante el valor del estadístico de las emisiones de  $CO_2$  generadas por los energéticos gas natural y carbón. Al parecer, según los resultados de los ciclos económicos, por cada unidad de los energéticos utilizados, se generan más de dos veces emisiones de  $CO_2$ . Los resultados anteriores sugieren un proceso explosivo entre las tres variables bajo estudio.

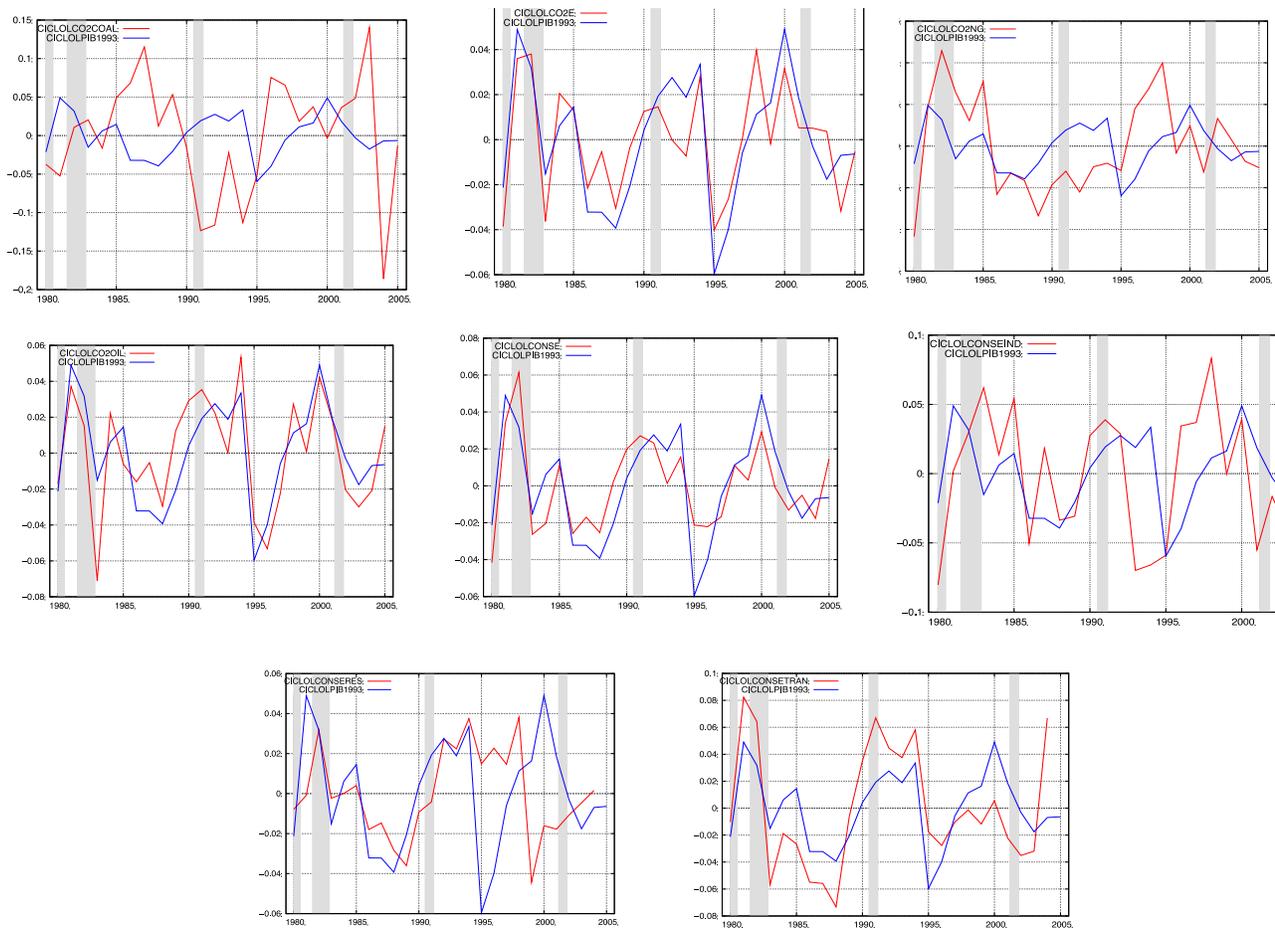
Una medida de los ciclos económicos interesante es la de la correlación cruzada de las variables con respecto al PIB en el periodo  $t$  pues nos dice si son variables líderes o rezagadas respecto al producto. Las variables que son líderes respecto al producto de acuerdo a la medición del ciclo económico es el consumo de energía del sector industrial ( $CE_{industrial}$ ), es decir, los resultados indican que primero se consume energía y después se produce. El resto de las variables en general van rezagadas  $t+i$  donde  $i > 1$  periodos después del PIB. Este es el caso de las emisiones de  $CO_2$  totales y de fuentes energéticas del petróleo y del gas natural. Cabe mencionar el papel que tiene el consumo de energía en el sector residencial ( $CE_{residencial}$ ) que es una variable rezagada con respecto al PIB debido a que primero se genera crecimiento económico y después se consume energía en los hogares de la economía. La gráfica 5 muestra los ciclos de las series analizadas una vez que aplicamos el filtro de Hodrick Prescott.

**Tabla 2. Comportamiento cíclico del PIB, consumo de energía y emisiones de  $CO_2$  para la economía mexicana. Periodo 1980 – 2005**

Variable	Volatilidad Relativa	Correlación cruzada del PIB con $x(i)$						
		$x(t-3)$	$x(t-2)$	$x(t-1)$	$x$	$x(t+1)$	$x(t+2)$	$x(t+3)$
PIB	0.0286	-0.2183	-0.0807	0.3511	1	0.3511	-0.0807	-0.2183
CE	0.8468	0.0485	0.0653	0.1181	0.7892	0.2981	-0.2878	-0.3241
$CE_{industrial}$	1.6272	0.0913	0.3999	0.1597	0.2524	-0.2302	-0.2647	-0.2901
$CE_{residencial}$	0.7668	-0.0850	-0.0244	-0.1884	0.2162	0.1706	0.0488	0.1439
$CE_{transporte}$	1.5602	0.0560	0.0480	0.2981	0.6708	0.1456	-0.2119	-0.2047
$CO_2$	0.8661	0.0732	-0.0477	0.0792	0.7964	0.1280	-0.2233	-0.1554
$CO_{2,petróleo}$	1.0971	-0.0066	-0.0623	0.1738	0.7690	0.1386	-0.2735	-0.3089
$CO_{2,gasnatural}$	2.0050	0.0873	0.0142	-0.0794	0.3156	0.0726	-0.0160	0.1382
$CO_{2,carbón}$	2.6951	0.1336	-0.0572	-0.1803	-0.3533	-0.2005	0.0257	0.1549



Figura 5: Ciclo económico entre PIB y Consumo de energía. Economía mexicana. 1980 -2005



Los resultados de los VARs se presentan en la tabla 3. Para el caso de las hipótesis presentadas en la sección III, los resultados indican que el aumento en el consumo de energía viene determinado por el mismo consumo de energía con dos rezagos de tiempo y aunque el consumo de energía del sector transporte es estadísticamente significativo el signo es negativo.

El crecimiento económico por su parte, de acuerdo al VAR esta explicado por la misma variable con dos rezagos de tiempo, el consumo energético del sector

industrial, residencial y del transporte. Los dos primeros con un rezago y el último rezagado dos periodos de tiempo. El resto de las variables -según los resultados obtenidos- no son significativos para explicar el crecimiento económico ni el consumo total de energía en la economía mexicana. Es importante mencionar que los resultados del consumo de energía no están explicados por el crecimiento económico sino sólo con respecto a sí mismo ( $t-2$ ). De igual forma, el consumo de energía no explica el crecimiento económico a menos que se descomponga esta variable por sector económico.



**Tabla 3. VAR's**

<b>Variable</b>	<b>log CE</b>	<b>log PIB</b>
$\log CE_{t-1}$	-0.215887 (-0.29971)	0.932258 (0.94297)
$\log CE_{t-2}$	0.755408 (2.63431)	0.685620 (1.74200)
$\log CE_{t-1,industria}$	0.310056 (1.74223)	0.751302 (3.07581)
$\log CE_{t-2,industria}$	-0.126844 (-1.17807)	0.053306 (0.36071)
$\log CE_{t-1,residencial}$	0.196009 (0.48121)	-0.324360 (-0.58018)
$\log CE_{t-2,residencial}$	0.530879 (1.82633)	1.083264 (2.71518)
$\log CE_{t-1,transporte}$	-1.258775 (-3.05283)	1.012755 (1.78951)
$\log CE_{t-2,transporte}$	-1.645439 (-3.35360)	-1.504779 (-2.23451)
$\log PIB_{t-1}$	0.428321 (1.16473)	0.378433 (0.74977)
$\log PIB_{t-2}$	0.411292 (0.77098)	1.595540 (2.17910)
$\log CO_{2,t-1}$	-1.305512 (-1.67390)	-2.037031 (-1.90299)
$\log CO_{2,t-2}$	0.434679 (0.63090)	-1.143560 (-1.2931)
<i>R2</i>	0.994014	0.992371
<i>R2 ajustada</i>	0.986831	0.983216
<i>Suma de los residuos al cuadrado</i>	0.003027	0.005702
<i>Error estándar de la ecuación</i>	0.017397	0.023878



**Tabla 4. Pruebas de Causalidad de Granger. Período 1980 - 2005**

$H_0$	Estadístico F	Probabilidad
$\Delta CE$ no causa en el sentido de Granger $\Delta CO_2$	2.075	0.153
$\Delta CO_2$ no causa en el sentido de Granger $\Delta CE$	0.55	0.587
DPIB no causa en el sentido de Granger $\Delta CE$	3.13	0.066
$\Delta CE$ no causa en el sentido de Granger DPIB	4.46	0.025
DPIB no causa en el sentido de Granger $\Delta CO_2$	2.418	0.115
$\Delta CO_2$ no causa en el sentido de Granger DPIB	3.872	0.038
$\Delta CE_{industria}$ no causa en el sentido de Granger $\Delta CO_2$	0.471	0.632
$\Delta CO_2$ no causa en el sentido de Granger $\Delta CE_{industria}$	1.785	0.196
$\Delta CE_{residencial}$ no causa en el sentido de Granger $\Delta CO_2$	5.77	0.011
$\Delta CO_2$ no causa en el sentido de Granger $\Delta CE_{residencial}$	0.15	0.862
$\Delta CE_{transporte}$ no causa en el sentido de Granger $\Delta CO_2$	0.377	0.691
$\Delta CO_2$ no causa en el sentido de Granger $\Delta CE_{transporte}$	4.212	0.031
DPIB no causa en el sentido de Granger $\Delta CE_{industria}$	1.498	0.250
$\Delta CE_{industria}$ no causa en el sentido de Granger DPIB	2.050	0.157
DPIB no causa en el sentido de Granger $\Delta CE_{residencial}$	0.538	0.593
$\Delta CE_{residencial}$ no causa en el sentido de Granger DPIB	5.300	0.015
DPIB no causa en el sentido de Granger $\Delta CE_{transporte}$	0.300	0.744
$\Delta CE_{transporte}$ no causa en el sentido de Granger DPIB	0.397	0.677

La tabla 4 muestra los resultados de la prueba de Granger entre las variables consideradas para determinar la relación existente entre crecimiento económico y consumo de energía. Donde  $\Delta CE$  se refiere al crecimiento en el Consumo de Energía primaria y secundaria,  $\Delta CO_2$  a crecimiento en las emisiones de  $CO_2$ ,  $\Delta CE_i$  se refiere al consumo de energía de los sectores  $i$ , donde  $i$ =industria, residencial, comercial y público y transporte.

Si bien las correlaciones de los resultados anteriores indican que las variables tomadas en cuenta son todas procíclicas, los resultados de las pruebas de Granger con dos periodos de rezagos indican que

aumentos en el consumo de energía ocasionan aumentos en el crecimiento económico; no existe una causalidad determinada entre consumo de energía y emisiones contaminantes; el crecimiento en las emisiones de dióxido de carbono causa aumento en el crecimiento económico y aumento en el consumo energético del sector residencial, causa aumento en el PIB de la economía. De estos resultados, los más relevantes son: (1) El sector residencial causa aumentos en el PIB de la economía, (2) Aumentos del consumo de energía total ocasionan aumentos en el crecimiento económico y (3) Incrementos en el consumo de energía del sector residencial causa incrementos en las emisiones de  $CO_2$ . Los resulta-



dos son consistentes con los de Soytas, U. and R. Sari (2003) y y Lee, Ch. (2006) quienes encontraron resultados similares para Turquía, Francia, Alemania, Japón, Canadá, Bélgica, Holanda y Suiza. Sin embargo, *a priori*, los resultados esperados indicarían que más que el consumo de energía del sector residencial, fuesen los sectores económicos industrial y transporte los que generaran crecimiento económico y por ende, emisiones contaminantes de  $CO_2$ . Estos resultados no son consistentes con los encontrados por medio de la metodología de los ciclos económicos. Ver cuadro 2 para mayor referencia.

La figura 6 muestra las funciones de impulso respuesta de las variables. De acuerdo a los resultados:

1.El consumo de energía responde principalmente a los cambios en los sectores industrial y transporte; sectores que utilizan la mayor parte de la energía de la economía. En el caso del primero, el aumento de energía industrial ocasiona un incremento persistente en el consumo de la energía total de la economía; para el sector industrial, aumentos en el consumo de energía de este sector, aumentan el consumo total de energía en la economía aunque a largo plazo regresa a su tendencia. En el caso de  $CO_2$ , un incremento

en las emisiones contaminantes, ocasionan una disminución en el consumo de energía de la economía aunque periodos después regresa a su tendencia. Este último resultado es importante pues podría indicar que los hogares de la economía mexicana están preocupados por el medio ambiente a medida que aumentan las emisiones de contaminantes.

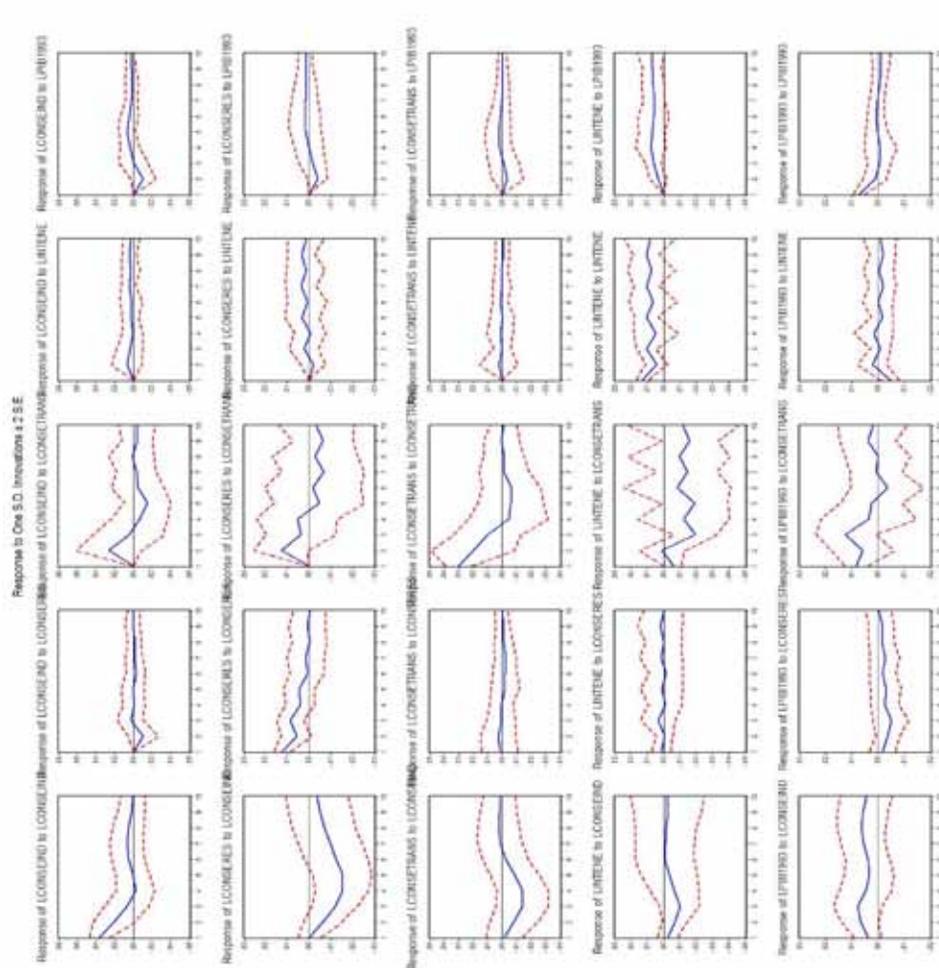
2.El crecimiento de la economía responde de manera positiva ante cambios en la demanda de consumo de energía de los sectores industrial y de transporte. Los resultados indican al igual que en el caso anterior, un aumento de en las emisiones de  $CO_2$  ocasionan una disminución en el crecimiento de la economía.

3.Las emisiones de  $CO_2$  responden de manera positiva ante cambios en el consumo de energía de los sectores industrial y transporte y en menor medida al consumo total de energía de la economía.

Así, de acuerdo a los resultados de los VARs, es el consumo de energía de los sectores industrial y de transporte los que ocasionan cambios en el consumo total de energía y en el crecimiento de la economía. Un resultado importante también es que aumentos en las emisiones de  $CO_2$  trae cambios en el crecimiento económico y en el consumo de energía



Figura 6. Funciones de Impulso Respuesta



### Conclusiones

La relación entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes de  $CO_2$  fue explorada en este trabajo. Utilizando metodología de ciclos económicos reales, series de tiempo con vectores auto regresivos (VARs), pruebas de causalidad y funciones de impulso respuesta se intentó obtener evidencia empírica entre estas variables para la economía mexicana. Adicionalmente a este análisis, se tomaron en cuenta los consumos de energía de los sectores industrial, residencial, comercial, público y transporte para obtener resultados más específicos

en la relación antes descrita. Los resultados obtenidos permitieron obtener las siguientes conclusiones:

1. Existe una relación siempre positiva entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de  $CO_2$ .
2. Como resultado de las metodología de ciclos reales obtuvimos que las variables bajo estudio son procíclicas con el crecimiento del producto. Encontramos también que hay variables fuertemente volátiles como son las emisiones de  $CO_2$  del gas natural y del carbón y del consumo de energía de los sectores industrial y de transporte, es decir, ante un cambio en el cre-



imiento económico, las emisiones contaminantes y el consumo de energía crecen más que el producto mismo. Con respecto al liderazgo / rezago de las variables con respecto al PIB, la única variable que parece anteceder al PIB es el consumo de energía en el sector industrial; el resto de las variables son rezagadas con respecto al crecimiento económico.

3. Los resultados de los VAR's indican que tanto cambios en el consumo de energía como crecimiento económico se explican por incrementos de energía de los sectores de la economía industrial, residencial y transporte. También los resultados indican una persistencia de las variables, es decir, aumentos de las variables en periodos previos explican la inercia de los cambios en las mismas variables.

4. Los resultados de las pruebas de causalidad de Granger coinciden con trabajos previos en los que se encuentra que aumentos en el consumo de energía causa crecimiento económico.

5. Finalmente, las funciones de impulso respuesta indican que es el consumo de energía de los sectores industrial y de transporte los que ocasionan cambios en el consumo total de energía y en el crecimiento de la economía. Un resultado importante también es que aumentos en las emisiones de  $CO_2$  trae cambios en el crecimiento económico y en el consumo

de energía.

Las implicaciones de política económica de acuerdo con estos resultados indican que los sectores más relevantes de la economía para controlar la demanda en el consumo de energía son el industrial y el de transporte. Otra implicación se relaciona con las emisiones de  $CO_2$  debido a que ante cambios de esta variable tanto crecimiento económico como consumo total de energía se ven afectados negativamente.

Los resultados de este trabajo nos sugieren temas relevantes de estudio para la economía mexicana, caracterizada por estar en etapa de crecimiento. Entre ellos encontramos: (i) dado que según los resultados del ciclo económico el consumo de energía primaria y secundaria en el sector industrial anteceden al PIB, elaborar políticas públicas enfocadas a este sector económico para la adquisición de bienes de capital más eficientes, esto es, que utilicen menos energía que los que se utilizan actualmente y (ii) de acuerdo a los resultados de los VAR's, los sectores industrial y transporte de la economía son los que explican el crecimiento con dos periodos de rezago. En este caso, proponer políticas públicas hacia el uso de energéticos renovables y menos contaminantes dado que existe un proceso explosivo en la relación consumo de energía - emisiones contaminantes.

### **Bibliografía**

- Asafu-Adjaye, John (2000). The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. *Energy Economics*. Volume 22, Issue 6, December, pp. 615-625
- Bruyna de, S. M., J. C. J. M. van den Bergha and J. B. Opschoor (1998) Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. *Ecological Economics*. Volume 25, Issue 2, May, pp. 161-175
- Chenga, Benjamin S. and Tin Wei Lai. (1997). An investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. *Energy Economics*. Volume 19, Issue 4, October, pp. 435-444
- Cole, M.A., A.J. Rayner and J.M. Bayes (1997) The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. *Environment and Development Economics*, 2, pp. 401-416.
- Dufour J.M. and E. Renault (1998) Short Run and Long Run Causality in Time Series: Theory. *Econometrica*. Vol. 66, No. 5 (Sep.), pp. 1099 - 1125



- Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica* 37: 424-438
- Gómez - López C. and L. Puch (2008) Uso de energía en economías exportadoras de petróleo. FEDEA. Serie Estudios Económicos 24 - 08.
- Hosoya, Y. (1977) On the Granger Condition for Non-Causality. *Econometrica*, Vol. 45, No. 7 (Oct., 1977), pp. 1735-1736
- Hodrick, R. J. and E. C. Prescott (1997) Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation. *Journal of Money, Credit & Banking*, Vol. 29.
- Lee, Chien Chiang (2006) The causality relationship between energy consumption and GDP in G-11 countries revisited. *Energy Policy*. Volume 34, Issue 9, June, pp. 1086-1093
- Masih, Abul M. M. and Rumi Masih (1996) Energy consumption, real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error-correction modelling techniques. *Energy Economics*. Volume 18, Issue 3, pp. 165 - 183.
- Murthy, N.S., M. Panda and J. Parikh (1997). Economic growth, energy demand and carbon dioxide emissions in India: 1990-2020. *Environment and Development Economics*, 2 , pp 173-193.
- Shyamal Paul and Rabindra N. Bhattacharya (2004) Causality between energy consumption and economic growth in India: a note on conflicting results. *Energy Economics* Volume 26, Issue 6, November, pp. 977-983
- Sims, C. (1972) Money, Income and Causality. *The American Economic Review*, Vol. 62, No. 4 (Sep.), pp. 540-552
- Sims, C. (1980) Macroeconomics and Reality. *Econometrica* Vol. 48 No. 1. p. 1 - 48
- Sims, C. (1980) Comparison of Interwar and Postwar Business Cycles: Monetarism Reconsidered. *The American Economic Review*, Vol. 70, No. 2, Papers and Proceedings of the Ninety-Second Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1980), pp. 250-257
- Sims, C. (1983) Is there a monetary business cycle? *The American Economic Review*, Vol. 73, No. 2, Papers and Proceedings of the Ninety-Fifth Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1983), pp. 228-233
- Sims, C. (1989) Models and their Uses. *American Journal of Agricultural Economics* Vol. 71 No. 2. p. 489 - 494
- Sims, C. (1992) Interpreting the macroeconomic time series facts. The effects of monetary policy. *Economic European Review* 36. p. 975-1011. North - Holland
- Sims, C. (1996) Macroeconomics and Methodology. *Journal of Economic Perspectives* Vol. 10. N.1 p. 105-120
- Soytas, Ugur and Ramazan Sari (2003) Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. *Energy Economics*. Volume 25, Issue 1, January, pp. 33-37
- Wickens, M. R and R. Motto (2001) Estimating Shocks and Impulse Response Functions. *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 16, No. 3. Special Issue in Memory of John Denis Sargan, 1924-1996: *Studies in Empirical Macroeconometrics* (May - Jun., 2001), pp. 371 - 387

### ***Datos de la autora***

Claudia S. Gómez-López  
Departamento de Economía y Finanzas,  
Universidad de Guanajuato, México  
e-mail: [claudia.gomez@ugto.org](mailto:claudia.gomez@ugto.org)