

CALENTAMIENTO GLOBAL DE LA TIERRA. UN EJERCICIO ECONOMETRICO

GUSTAVO VARGAS* Y JULIETA LEO**

Resumen

El calentamiento de la superficie terrestre es uno de los temas que más preocupan no sólo a los ecologistas y a las instituciones dedicadas al medio ambiente, sino a los gobiernos de los diferentes países del mundo y a la población en general. El incremento en la temperatura promedio puede provocar graves consecuencias en los ambientes naturales y sociales.

El patrón de crecimiento de la actividad productiva tiene un costo muy elevado en contaminación y en el calentamiento global, que en este ensayo tratamos de cuantificar a través de un sencillo ejercicio de econometría. Se pronostica que de continuar el consumo de combustibles fósiles a la tasa con la cual se han venido explotando, para el año 2050 la temperatura promedio del planeta puede llegar a casi 15 grados centígrados, es decir, 0.46°C más que los registrados en 1999.

Palabras clave: Calentamiento de la Tierra, modelo econométrico.

Clasificación JEL: C50, Q20

Recibido: 15 de julio de 2002.

Enviado a dictamen: 22 de julio de 2002.

Aceptado: 14 de enero de 2003.

Introducción

El objetivo del presente ejercicio es corroborar la hipótesis de que el hombre en sus actividades productivas, tanto industriales como de servicios, es el principal responsable del calentamiento de la Tierra, en particular la quema acelerada de combustibles fósiles en forma de consumo de carbón, petróleo y gas natural son los principales causantes no sólo de la emisión de dióxido de carbono (CO₂), sino del calentamiento global. Sin embargo, los altos costos de una política preventiva, correctiva o de retraso del cambio climático se manifiestan en intensos debates que han impedido la ratificación del protocolo de Kyoto.

El patrón de crecimiento de la actividad productiva tiene un costo muy elevado en contaminación y en el calentamiento global, que en este ensayo tratamos de cuantificar a través de un sencillo ejercicio de econometría. Se pronostica que de continuar el consumo de combustibles fósiles a la tasa con la cual se han venido explotando, para el año 2050 la temperatura promedio del planeta puede llegar a casi 15 grados centígrados, es decir, 0.46°C más que los registrados en 1999.

El calentamiento global de la Tierra se puede definir como el incremento de la temperatura del planeta por la intensificación del efecto invernadero que es provocado por las actividades del hombre.

El efecto invernadero es un proceso que se origina a partir de la energía procedente de la radiación solar que llega a la Tierra. Parte de ella se refleja, pero en su mayoría penetra en la atmósfera y calienta la superficie del planeta. Éste se enfría gracias a que emite radiación infrarroja invisible. Pero parte de esta radiación infrarroja es atrapada por los gases invernadero en la atmósfera que actúan como una cobija que conserva el calor en ella. Sin el efecto invernadero la temperatura media de la Tierra sería de unos 33°C inferior a la actual, lo que sería hostil para la vida.¹

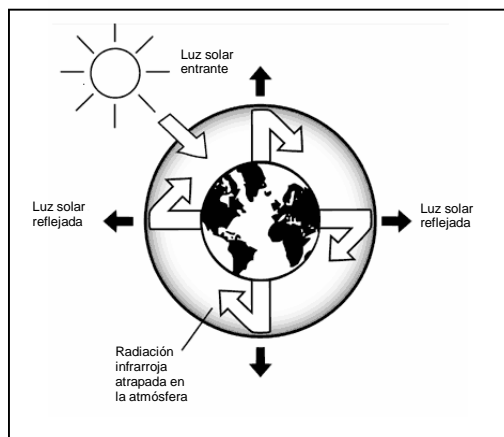
* Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Economía, UNAM.

** Estudiante de Diplomado de Economía Ambiental, IIEC, UNAM.

¹ Jeremy Leggett (compilador), *El calentamiento del planeta: Informe de Greenpeace*, México, FCE, 1990, pp. 19-20.



Gráfica 1
El efecto invernadero



Fuente: <<http://www.proinco.net/staff/mogens/cambiglobal/predic1.html>> .

En general podemos clasificar en dos las fuentes del calentamiento terrestre. La primera proviene de fenómenos naturales que dependen de mecanismos internos y externos al planeta. Los primeros son producto de la interacción de entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielos (criosfera), los organismos vivos (biosfera) y los suelos, sedimentos y rocas (geosfera), es decir, los componentes del sistema climático.² Los mecanismos

externos operan desde fuera del sistema climático, incluyen variaciones en la órbita e inclinación de la Tierra y cambios en el flujo solar. Con base en estos últimos se ha explicado la alternancia entre épocas glaciares cada 100 mil años y periodos interglaciares con una duración media de 15 a 20 mil años en el cuaternario.³

La segunda fuente es antropogénica, ya que muchas de las actividades desarrolladas por el hombre generan gases que acentúan el efecto invernadero, por ejemplo: la quema de combustibles fósiles y la deforestación desprenden dióxido de carbono (CO₂); los arrozales, las fugas de gas y la fermentación de materia orgánica generan metano (CH₄); la quema de biomasa y el uso de fertilizantes emiten óxido nitroso (N₂O); y los clorofluorocarbonos (CFC_s) son utilizados por la industria frigorífica, en el aire acondicionado y aerosoles. En conjunto, las mayores concentraciones de estos gases en la atmósfera intensifican el efecto invernadero y por tanto elevan la temperatura del planeta.

Algunos investigadores han realizado cálculos sobre la contribución de cada uno de estos *gases* al calentamiento de la Tierra, como se puede observar en el Cuadro 1:

Cuadro 1
Los gases comunes de invernadero, sus orígenes, tasas de acumulación en la atmósfera y su contribución al calentamiento terrestre en la década de los ochenta

<i>Gas</i>	<i>Fuentes principales:</i>	<i>Tasa actual de aumento y de concentración actual</i>	<i>Contribución al calentamiento global (%)</i>
Dióxido de carbono (CO ₂)	Quema de combustible fósil (C. 77%) Deforestación (C. 23%)	0.5% (353 ppmv) ^a	55
Clorofluorocarbonos (CFC _s) y gases afines (HFCs y HCFCs)	Diversos usos industriales: aerosoles de espuma, refrigeradores, solventes	4% (280 ppbv CFC-11 484 ppbv CFC-12)	24
Metano (CH ₄)	Arrozales Fermentación entérica Fugas de gas	0.9% (1.72 ppmv)	15
Óxido nitroso (N ₂ O)	Quema de biomasa Uso de fertilizantes Combustión de combustible fósil	0.8% (310 ppmmv)	6

^a ppmv = partes por millón volumen; ppmmv = partes por mil millones volumen; ppbv = partes por billón volumen.

Fuente: IPCC, Working Group I Report, Policymakers, tomado de Jeremy Leggett (compilador), *El calentamiento del planeta: informe de Greenpeace*, México, FCE, 1990, pág. 22.

² <<http://www.monografias.com/trabajos2/camcliglobal/camcliglobal.shtml>> .

³ Mackenzie, Fred, *Our Changing Planet. An Introduction to Earth System Science and Global Environmental Change*, Estados Unidos, Prentice-Hall, 1998, pág. 357.



Como se observa en el cuadro el factor que más contribuye al calentamiento de la Tierra es la quema de combustibles fósiles y la deforestación, que explican el 55%. Si se agregan los diversos usos industriales: refrigeradores, aerosoles de espuma y solventes se explica aproximadamente el 80% de contribución al calentamiento. En particular, los clorofluorocarbonos son considerados la principal causa del adelgazamiento de la capa de ozono, motivo por el cual se firmó en 1985 el Protocolo de Montreal con el objetivo de regular su producción, uso y comercialización.

No es una novedad que el clima cambie; lo preocupante es el ritmo acelerado como se ha venido dando últimamente. A través de los periodos interglaciares estos cambios se dieron en intervalos de 0.002°C por década. En comparación, desde 1990 la temperatura se ha incrementado en 0.05°C y, tomando en cuenta los modelos desarrollados durante los años ochenta, se predice un incremento de la temperatura desde 0.1 hasta 0.5 grados por década durante el próximo siglo XXI.⁴

Hace más de 20 años que los científicos advirtieron que la temperatura de nuestro planeta está aumentando debido a la actividad industrial, causando cambios en el sistema climático mundial. La temperatura media global de la superficie terrestre se ha incrementado entre 0.4 y 0.8°C desde el siglo pasado, esto es, un calentamiento promedio anual de 0.004 a 0.008°C. Asimismo, la tasa de calentamiento ha aumentado de manera cada vez más acelerada, en tal sentido durante la pasada década de los noventa se registraron los seis años más cálidos del periodo señalado.⁵

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, conformado en 1988 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organiza-

ción Meteorológica Mundial (OMM), pronosticó los probables efectos del calentamiento global:⁶

- Incrementos en la temperatura de 1 a 3.5°C para el año 2100, aunque en los peores escenarios podría aumentar hasta en 6°C.⁷
- Cambios en la frecuencia, cantidad y distribución estacional de la precipitación pluvial.
- Aumento en la evaporación y sequedad de los interiores continentales.
- Aumento del derretimiento de nieve, hielo marino y capas de hielo.
- Cambios en las corrientes oceánicas.
- Aumento del nivel del mar de 15 a 95 cms. para el año 2100.

Sin duda el responsable de la aceleración del calentamiento terrestre es el hombre, por lo que el objetivo de este trabajo es cuantificar económicamente primero la relación entre la temperatura y el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), que desprenden dióxido de carbono, y en segundo lugar calcular si en los últimos 50 años ha ocurrido una aceleración de dicho calentamiento.

I. Especificación del modelo económico

De acuerdo con diversas investigaciones⁸ el consumo y quema de combustibles fósiles son la principal fuente de emisiones de CO₂, el cual contribuye en un 55% al calentamiento global de acuerdo con las cifras del Cuadro 1. Por ello suponemos que un porcentaje sustancial del aumento de la temperatura terrestre (variable dependien-

⁶ Business Council for Sustainable Development Latin America, *Global Climate Change: A Basis for Business Strategy and Practice in Latin America*, México, Nuevo León, ITESM y BCSD-LA, 1999, p. 5.

⁷ <<http://www.proinco.net/staff/mogens/cambioglobal/predic1.html>> .

⁸ Jeremy Leggett (compilador), *op. cit.*, p. 22; Manuel Ludevid Anlgada, *El cambio global en el medio ambiente. Introducción a sus causas humanas*, México, ALFAOMEGA, 1997, p. 56.

⁴ Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible de América Latina, *Cambio climático global. El reto del sector privado en América Latina*, México, ITESM, 1998.

⁵ <<http://www.ecoportel.net/articulos/cambiocli.htm>> .



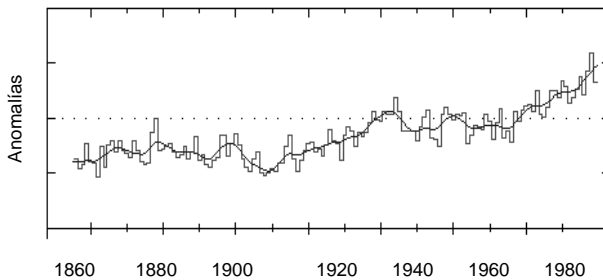
te) puede explicarse con base en el consumo de carbón, petróleo y gas natural (variables independientes). El modelo inicial fue el siguiente:

$$\text{TEMPERATURA} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \text{ CARBÓN} + \hat{\beta}_3 \text{ PETRÓLEO} + \hat{\beta}_4 \text{ GAS NATURAL} + u_i$$

Los datos utilizados se refieren a la temperatura global promedio para el periodo 1950-1999, medida en grados centígrados. Mientras que los consumos mundiales de carbón, petróleo y gas natural se expresan en miles de toneladas de petróleo equivalente para el mismo periodo. La fuente de los datos es el *World Resources International*.

Aunque el periodo de estudio es muy corto para analizar una variable tan compleja como la temperatura, ha sido en los últimos cincuenta años contemplados en este estudio, donde se reportan los mayores incrementos en la temperatura desde 1856, como se muestra en la Gráfica 2.

Gráfica 2
Anomalías anuales de la temperatura global, 1856-1999

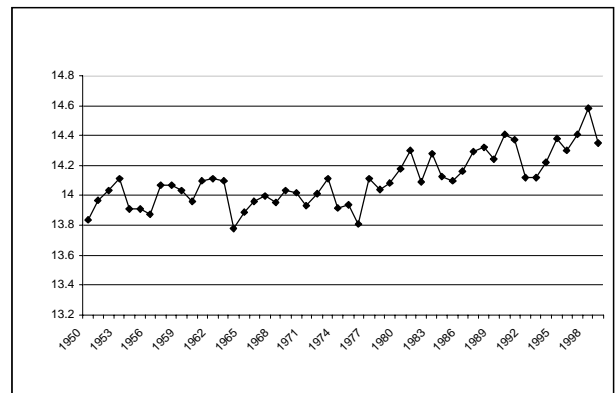


Fuente: P.D. Jones, T.J. Osborn y K.R. Briffa.
University of East Anglia, Norwich, UK.
D.E. Parker, Met. Office, Bracknell, Berkshire, UK.

En la Gráfica 3 se observa que la temperatura promedio de la Tierra, en los últimos veinte años, registró un nivel superior a la media de los últimos cincuenta años, situada en 14.1°C.

Este fenómeno de calentamiento terrestre viene de un proceso de largo plazo asociado a la actividad económica

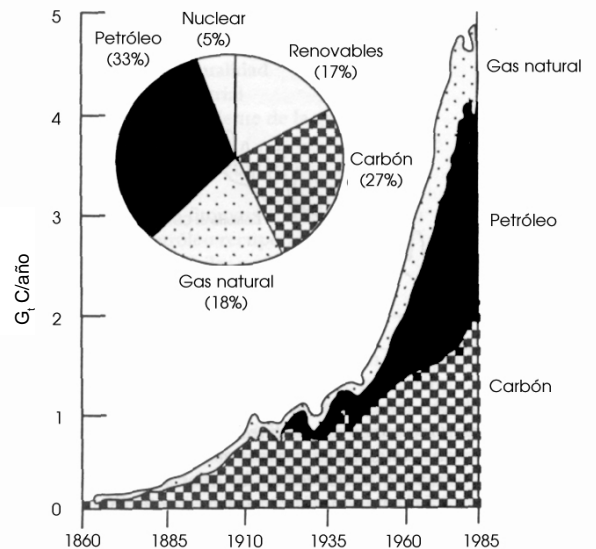
Gráfica 3
Temperatura global promedio, 1950-1999



Fuente: Elaboración propia con datos del Worldwat, <www.safeclimate.net>.

mundial y en particular a la quema de combustibles fósiles. A partir de la revolución industrial se registra una creciente explotación de diferentes fuentes de combustibles, como se puede apreciar en la Gráfica 4:

Gráfica 4
Crecimiento del consumo de combustible fósil



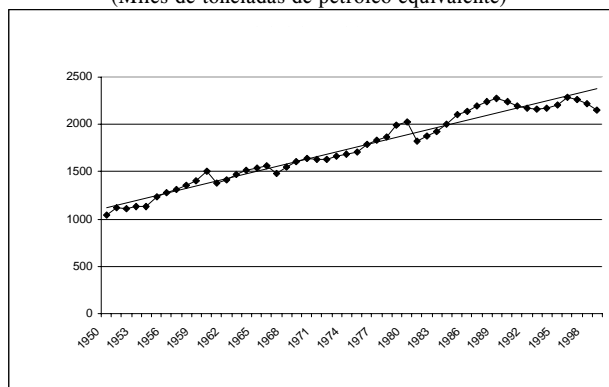
Fuente: British Petroleum, Worldwatch, tomado de Jeremy Leggett (compilador), *El calentamiento del planeta: Informe de Greenpeace*, México, FCE, 1990, p. 34.



En la gráfica se observa claramente el incremento extraordinario que ha experimentado en términos absolutos el consumo del petróleo y gas natural, sin que haya perdido importancia el consumo de carbón. En cuanto a sus tasas de crecimiento promedio destacan en los últimos cincuenta años el consumo de gas natural, en segundo lugar el petróleo y en tercero el de carbón.

De 1950 a 1999 el consumo de carbón creció a una tasa anual de 1.5%, y la media se localizó en 1976 con 1744.580 miles de toneladas en términos de petróleo equivalente.

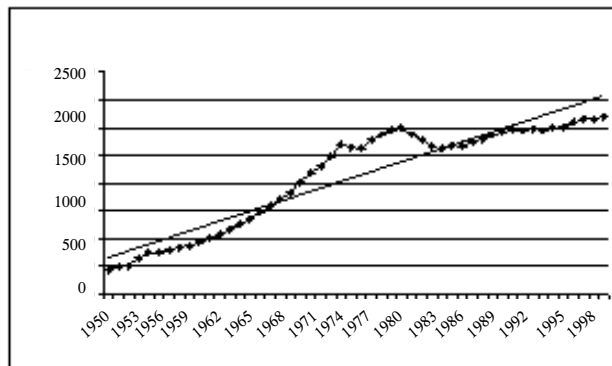
Gráfica 5
Consumo global de carbón, 1950-1999
(Miles de toneladas de petróleo equivalente)



Fuente: Elaboración propia con datos del Worldwatch Institute, < www.safeclimate.net > .

El consumo de petróleo creció a una tasa anual de 3.6%, más del doble que la del carbón. A partir de 1970 se

Gráfica 6
Consumo global de petróleo, 1950-1999
(Miles de toneladas de petróleo equivalente)

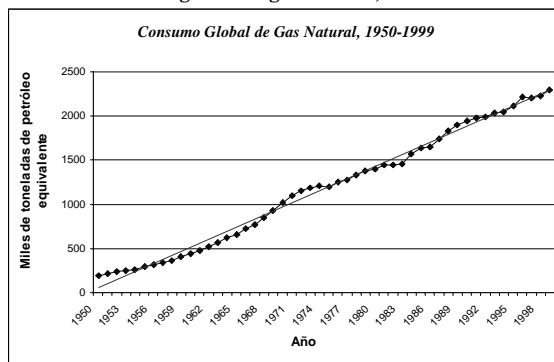


Fuente: Elaboración propia con datos del Worldwatch Institute, < www.safeclimate.net > .

superó la media de 2126.760 miles de toneladas de petróleo equivalente.

Finalmente, el gas natural creció a una tasa anual de 4.9% y la media fue de 1174.380 miles de toneladas de petróleo equivalente, en 1973 se rebasó este indicador.

Gráfica 7
Consumo global de gas natural, 1950-1990



Fuente: Elaboración propia con datos del Worldwatch Institute, < www.safeclimate.net > .

II. Ejercicio econométrico

Los resultados obtenidos del modelo especificado en la sección anterior, fueron los siguientes:

$$\text{TEMP} = 13.8469495 + 0.0001164083639 \text{ CAR} - 0.0001751960694 \text{ PET} + 0.0003599914757 \text{ G NAT}$$

$$(70.49906) (0.645315) (-3.418750) (3.236147)$$

$$R^2 = 0.64$$

$$F = 28.03$$

$$d = 1.62$$

Los signos de las variables explicativas del carbón y del gas natural, son positivos como se esperaba, es decir, que existe una relación directa entre la quema de estos combustibles y el aumento de la temperatura. Sin embargo, para la variable del petróleo este mismo supuesto no se cumple, ya que el signo reportado resultó contrario a lo esperado.



Mientras que las variables del gas natural y del petróleo resultaron estadísticamente significativas, el carbón reportó una t no significativa. Estos son indicios de la presencia de multicolinealidad, y por tanto las t 's y los estimadores no son confiables.

La matriz de correlación corroboró la existencia de multicolinealidad. Como se ve a continuación se presentan coeficientes de correlación superiores a 0.93.

Matriz de correlación

	<i>Carbón</i>	<i>Petróleo</i>	<i>Gas natural</i>
Carbón	1.000000	0.933214	0.973462
Petróleo	0.933214	1.000000	0.943597
Gas natural	0.973462	0.943597	1.000000

En apoyo a esta observación se estimaron las regresiones auxiliares en las que se estimó que todas las relaciones entre las variables independientes son significativas con un coeficiente de determinación muy alto.

$$4) \text{ CARBÓN} = 928.8426578 + 0.3835587194 \text{ PETRÓLEO} \\ (18.81648) (17.99359)$$

$$r^2 = 0.87$$

$$5) \text{ CARBÓN} = 1094.976292 + 0.5531460925 \text{ GAS} \\ \text{NATURAL} \\ (43.26254) (29.47086)$$

$$r^2 = 0.94$$

$$6) \text{ PETRÓLEO} = 594.7368663 + 1.304537827 \text{ GAS} \\ \text{NATURAL} \\ (6.675394) (19.74488)$$

$$r^2 = 0.89$$

$$7) \text{ PETRÓLEO} = -1834.388909 + 2.270545867 \\ \text{CARBÓN} \\ (-8.145134) (17.99359)$$

$$r^2 = 0.87$$

$$8) \text{ GAS NATURAL} = -1814.367466 +$$

$$1.713161601 \text{ CARBÓN} \\ (-17.48795) (29.47086)$$

$$r^2 = 0.94$$

$$\text{GAS NATURAL} = -277.1807738 + 0.682522134 \\ \text{PETRÓLEO} \\ (-3.462670) (19.74488)$$

$$r^2 = 0.89$$

Para superar el problema de la multicolinealidad se agregaron las variables independientes en un único indicador, generando la variable de consumo total de combustibles fósiles (CTCF). Esto se pudo hacer gracias a que la información de los consumos de cada uno de los combustibles se encuentran expresados en la misma unidad métrica (millones de toneladas de petróleo equivalente). Por lo que se formuló el siguiente modelo:

$$9) \text{ TEMPERATURA} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \text{ CTCF} + u_i$$

Los resultados obtenidos fueron:

$$\text{TEMPERATURA} = 13.78590927 + 0.000,06 \text{ CTCF} \\ (269.5064) (6.575139)$$

$$r^2 = 0.47$$

$$d = 1.04$$

Como se esperaba el signo es positivo, lo que confirma que los incrementos en el CTCF generan incrementos en la temperatura global. Asimismo, la variable del CTCF es significativa porque el estadístico t es mayor al t crítico. El coeficiente de determinación indica que el modelo es explicativo en 47%. El valor obtenido de $\hat{\beta}_2$ indica que por cada mil toneladas de CTCF, la temperatura se incrementa en 0.000,06°C.

Por la prueba de Durbin-Watson y de autocorrelación serial de Breusch-Godfrey, se observó la existencia de un problema de autocorrelación de primer grado, el cual



también se detectó gráficamente en el correlograma de residuos.

En vista del problema de autocorrelación y de un r^2 bajo, se estimó un modelo autorregresivo con un AR(1), lo que en términos teóricos se explica como resultado de fenómenos naturales (tanto internos como externos al globo terráqueo) y causados por el hombre, que se acumulan año tras año. El término autorregresivo de primer orden es importante pues nos dice que el calentamiento de la Tierra es un proceso acumulativo, es decir, que la temperatura promedio de cada año está influida por la temperatura de los años anteriores.

El modelo especificado es el siguiente:

$$\text{TEMPERATURA} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \text{CTCF} + \hat{\beta}_3 \text{ar}(1) + u_i$$

$$\text{TEMPERATURA} = 13.79823819 + 0.000,060,615 \text{CTCF} + [\text{AR}(1) = 0.478277722] \\ (146.6298) (3.573385) (3.676461)$$

$$r^2 = 0.575327 \\ F = 31.15929 \\ d = 2.003062$$

Los estimadores son confiables y los signos se comportan adecuadamente, además el modelo logra explicar el 57% del comportamiento de la temperatura terrestre. La interpretación, nuevamente es que por cada mil toneladas de consumo de combustibles fósiles, la temperatura se incrementa en 0.000,06°C.

El modelo pasó todas las pruebas satisfactoriamente:

<i>Prueba estadística</i>	<i>Valores</i>
<i>Normalidad</i>	
Jarque-Bera	0.601 (0.740)
<i>Correlación</i>	
Breusch-Godfrey	F = 0.015 (0.984)
<i>Heteroscedasticidad</i>	
Arch	F = 1.08 (0.303)
White	F = 0.293 (0.747)
<i>Cointegración</i>	
ADF	-4.639 (1% Critical Value 3.574)

De acuerdo con los resultados anteriores, el incremento promedio anual de la temperatura fue de 0.006°C, en los últimos cincuenta años, durante los cuales el consumo de dichos combustibles aumentó en 7 000 miles de toneladas, dando origen a que la temperatura aumentara en 0.42°C y en el último siglo el incremento fuese de 0.8°C. Estas estimaciones se encuentran dentro del intervalo de incremento de la temperatura promedio anual real para el último siglo, que va de 0.004 a 0.008,⁹ pero verifican la hipótesis de que en los últimos cincuenta años la tasa de crecimiento de la temperatura llega a los límites previstos en el intervalo antes mencionado (0.004 y 0.008).

En busca de más resultados se corrieron otros dos modelos: un lineal-logarítmico y otro doble-logarítmico. El primero de ellos es el siguiente:

$$\text{TEMPERATURA} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \text{Log CTCF} + \hat{\beta}_3 \text{ar}(1) + u_i$$

Se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{TEMPERATURA} = 12.13644222 + 0.233,357 \text{Log} \\ \text{CTCF} + [\text{AR}(1) = 0.557,732] \\ (15.51) (2.53) (4.49)$$

$$r^2 = 0.55 \\ F = 28.32 \\ d = 2.046$$

Ambas variables son significativas, los signos son positivos de acuerdo con la hipótesis planteada y el modelo explica el comportamiento de la temperatura en 55%. Este dato coincide con la información del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, que calcula la contribución de las emisiones de CO₂ provenientes de la quema de combustibles fósiles y la deforestación al calentamiento terrestre en 55% para 1990.¹⁰

Los estimadores obtenidos indican que un incremento en 1% en el CTCF se acompaña de un incremento en la temperatura de 0.23 % de °C.

⁹ *Op. cit.*, <<http://www.ecoportel.net/articulos/cambiocli.htm>>.

¹⁰ Jeremy Leggett (compilador), *op. cit.*, p. 22.



El modelo pasa todas las pruebas y en la prueba de cointegración resulta con 99% de confianza, como se observa en el siguiente cuadro:

<i>Prueba estadística</i>	<i>Valores</i>
<i>Normalidad</i>	
Jarque-Bera	0.539 (0.763)
<i>Correlación</i>	
Breusch-Godfrey	F = 0.155 (0.856)
<i>Heteroscedasticidad</i>	
Arch	F = 1.107 (0.298)
White	F = 0.333 (0.718)
<i>Cointegración</i>	
ADF	-4.714 (1% Critical Value 3.574)

En el modelo doble-logarítmico se obtuvo lo siguiente:

$$\text{Log TEMPERATURA} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \text{Log CTCF} + \hat{\beta}_3 \text{ar}(1) + u_i$$

$$\begin{aligned} \text{Log TEMPERATURA} = & 2.507560109 + \\ & 0.01646537253 \text{Log CTCF} + [\text{AR}(1)=0.5558663877] \\ & (45.47179) (2.538991) (4.473926) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.55 \\ F &= 28.15 \\ d &= 2.046 \end{aligned}$$

El modelo resulta con estimadores confiables y un coeficiente de determinación elevado, además pasa todas las pruebas y en la de cointegración resulta con 99% de confianza, igual que en el modelo anterior:

<i>Prueba estadística</i>	<i>Valores</i>
<i>Normalidad</i>	
Jarque-Bera	0.667 (0.716)
<i>Correlación</i>	
Breusch-Godfrey	F = 0.140 (0.868)
<i>Heteroscedasticidad</i>	
Arch	F = 1.141 (0.290)
White	F = 0.267 (0.766)
<i>Cointegración</i>	
ADF	-4.705 (1% Critical Value 3.574)

Los resultados indican que el incremento del 100% en el CTCF, genera un incremento de la temperatura en 1.6%. Como en el periodo de estudio el CTCF se elevó en aproximadamente 300%, esto implicó que la temperatura se elevara en 0.66 grados pasando de 13.8 a inicios del periodo a 14.46 a finales del mismo como se puede apreciar en la Gráfica 3. Para el año 2025, si el consumo de combustibles se mantiene al mismo ritmo y no hay un cambio sustancial en las condiciones estructurales del patrón de crecimiento de la economía mundial la temperatura llegaría a casi 14.8 grados y al 2050 a 15.5 grados.

Finalmente, se estimaron las tasas de crecimiento promedio del periodo de la temperatura y del CTCF con los siguientes modelos:

$$\text{Log TEMPERATURA} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \text{TIEMPO} + u_i$$

$$\text{Log CTCF} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \text{TIEMPO} + u_i$$

Se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{Log TEMPERATURA} = 2.6 + 0.0006383736701 \text{TIEMPO}$$

$$\text{Log CTCF} = 7.6 + 0.030202867 \text{TIEMPO}$$

Es decir que durante el periodo de 1950-1990 la temperatura creció a una tasa anual de 0.06%, mientras que el CTCF en 3.0 por ciento.

Conclusiones

Los resultados de los modelos descritos corroboran que en los últimos años la temperatura de la Tierra se ha incrementado más rápidamente, la cual aumentó 0.66°C en promedio durante todo el periodo, al pasar de 13.8 a 14.46 grados. Esta estimación es congruente con los resultados obtenidos en otras investigaciones que informan que “en la actualidad las temperaturas promedio globales son más calurosas que las de la época pre-industrial”.¹¹

¹¹ IPCC, citado por Jeremy Leggett (compilador), *op. cit.*, p. 23.



El consumo de combustibles fósiles explica en aproximadamente un 55% el incremento de la temperatura de la Tierra en el periodo 1950-1999.

Si bien Ludevic¹² supone que un incremento en la tasa de crecimiento anual del 2% en el consumo de combustibles fósiles, llevaría a una duplicación de las concentraciones de CO₂ y a un incremento de la temperatura en hasta 15°C para el año 2050, nuestros resultados muestran que de no cambiar el patrón de producción y consumo de energía para el 2025 llegaremos a 14.8 grados y para el 2050 a 15.5 grados.

Aunque existen pocos trabajos que aborden las consecuencias económicas del cambio climático, sobre todo en países de pobre desarrollo, se estima que los daños del calentamiento global ascenderían a un 2% del producto mundial.¹³ No obstante, hay que reconocer que mientras algunos países sufrirán alteraciones negativas en sus ciclos agrícolas y en la fertilidad de los suelos, pérdida de áreas costeras, reasentamientos humanos, propagación de enfermedades tropicales, entre otras; otros países se verán favorecidos. Por ejemplo, Nordhaus¹⁴ estima que Rusia y países de altos ingresos como Canadá se beneficiarán del cambio climático ya que dispondrán de mejores tierras agrícolas y podrán practicar más actividades al aire libre.

Si bien este sencillo ejercicio para los estudiantes de econometría tiene más un fin didáctico, y por consiguiente requiere de robustecer la información y el mismo modelo, nos muestra la gravedad del cambio en las condiciones climatológicas que están produciendo las sendas tecnológicas que ha seguido la economía mundial.

¹² Ludevid Anlgada, Manuel, *El cambio global en el Medio Ambiente, Introducción a sus causas humanas*, México, ALFAOMEGA, 1997, pág. 56.

¹³ Nordhouse, William, "To Slow or not to Slow: the Economics of the Greenhouse Effect", *The Economic Journal*, Gran Bretaña, Royal Economic Society, núm. 407, Vol. 101, Julio, 1991, pág. 936.

¹⁴ Nordhouse, William, "New Estimates of the Economic Impacts of Climate Change", December, 1998, pág. 19, < www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/impact%20text%20122998a.PDF > .

Referencias

- Business Council for Sustainable Development Latin America, *Global Climate Change: A Basis for Business Strategy and Practice in Latin America*, México, Nuevo León, ITESM y BCSD-LA, 1999.
- Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible de América Latina, *Cambio climático global. El reto del sector privado en América Latina*, México, Instituto Tecnológico de Monterrey, 1998.
- Dougherty, Christopher, *Introduction to Econometric*, Oxford University Press, 1992.
- Gujarati Damodar, *Econometría*, México, McGraw-Hill, 1997.
- Leggett, Jeremy (compilador), *El calentamiento del planeta: Informe de Greenpeace*, México, FCE, 1990.
- Ludevid Anglada, Manuel, *El cambio global en el medio ambiente. Introducción a sus causas humanas*, México, ALFA-OMEGA, 1997.
- Mackenzie, Fred, *Our Changing Planet. An Introduction to Earth System Science and Global Environmental Change*, Estados Unidos, Prentice-Hall, 1998.
- Nordhouse, William, "To Slow or not to Slow: the Economics of the Greenhouse Effect", *The Economic Journal*, Gran Bretaña, *Royal Economic Society*, núm. 407, Vol. 101, Julio, 1991, pp. 920-937.
- Nordhouse, William, "New Estimates of the Economic Impacts of Climate Change", December, 1998, pp. 23. < www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/impact%20text%20122998a.PDF > .
- Pindyck, Robert y Daniel Rubinfeld, *Econometric Models and Economic Forecasts*. Third Edition, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- Shiffler, Ronald y Arthur Adams, *Introductory Business Statistics With Computer Applications*, second edition, International Thomson Publishing, 1995.
- < <http://www.safeclimate.net> > .
- < <http://www.proinco.net/staff/mogens/cambioglobal/predic1.html> > .
- < <http://www.monografias.com/trabajos2/camcliglobal/camcliglobal.shtml> > .
- < <http://www.ecoportel.net/articulos/cambiocli.htm> > .
- < <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/jonescru/graphics/nhshglob.gif> > .

