

Sustentabilidad Productiva Sectorial

*Algunas
evidencias
de aplicación*

Primera edición 2015

Sustentabilidad productiva sectorial. Algunas evidencias de aplicación

David Iglesias Piña, Fermín Carreño Meléndez
y Alan Noe Jim Carrillo Arteaga (coordinadores)

© Derechos reservados

Universidad Autónoma del Estado de México
Av. Instituto Literario 100 Oriente, C.P. 50000,
Toluca, Estado de México.
<http://www.uaemex.mx/>

© Imágenes: propiedad intelectual de los autores

© Portada: Jorge Marcelino

Corrección de estilo

Manuel Encastin

Diseño y formación

Jorge Marcelino

Queda prohibida la reproducción parcial o total del contenido sin la previa autorización por escrito de la institución responsable de la edición en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y, en su caso, de los tratados internacionales aplicables.

El contenido de esta publicación es responsabilidad de los autores.

Dictaminado favorablemente conforme a los lineamientos editoriales vigentes a partir de 2009, del Consejo General Editorial UAEMéx.

ISBN: 978-607-422-648-5

Impreso México / *Printed in Mexico.*

ÍNDICE

9 PRÓLOGO

11 INTRODUCCIÓN

I

15 UTILIZACIÓN DEL MÉTODO *IDEA* PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE LA GANADERÍA DEL ESTADO DE MÉXICO

Jovel Vences Pérez, Adriana de Lizt Nájera Garduño, Benito Albarrán Portillo, Carlos Manuel Arriaga Jordán, Samuel Rebollar-Rebollar y Anastacio García Martínez

41 DISEÑO DE TRAMPAS PARA GRASAS CON FIBRAS NATURALES

Arely Díaz Román, Miranda Italivy Jiménez Romero y Lucila Herrera Reyes

II

61 SUSTENTABILIDAD DE LA PIROTECNIA EN SAN MATEO TLALCHICHILPAN, ESTADO DE MÉXICO

Ramón Calderón Contreras, Juan Carlos Sánchez Meza, Víctor Pacheco Salazar y Gonzalo Martínez Barrera

89 LA AGRUPACIÓN DE EMPRESAS VÍA PARQUES INDUSTRIALES. ¿ALTERNATIVA DE SUSTENTABILIDAD PRODUCTIVA?

David Iglesias Piña, Fermín Carreño Meléndez y Alan Noe Jim Carrillo Arteaga

- 115 **MODELO DE COMERCIO INTERNACIONAL DEL CAFÉ
ORGÁNICO PARA EL DESARROLLO REGIONAL**
Miguel Castillo González, Selene Jiménez Bautista y Darío Ibarra Zavala

III

- 137 **LA GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL: SU IMPACTO
EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS TRABAJADORES**
*Alma Angélica Olivares Linares, Elva Esther Vargas Martínez
y Aristeo Santos López*
- 159 **COINTEGRACIÓN Y CAUSALIDAD ENTRE PRODUCCIÓN
Y EMISIONES DE CO₂: EVIDENCIA PARA
NORTEAMÉRICA**
Osvaldo U. Becerril Torres y Jessica Álvarez Colín
- 187 **SUSTENTABILIDAD EMPRESARIAL. UNA VISIÓN ÉTICA
DESDE LA PERCEPCIÓN DE LOS EMPLEADOS DE LA
HOTELERÍA**
Alexis Ricardo Hernández Sánchez y Elva Esther Vargas Martínez

COINTEGRACIÓN Y CAUSALIDAD ENTRE PRODUCCIÓN Y EMISIONES DE CO₂. EVIDENCIA PARA NORTEAMÉRICA

OSVALDO U. BECERRIL TORRES

JESSICA ÁLVAREZ COLÍN

Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Economía

INTRODUCCIÓN

La población mundial en la segunda década del siglo XXI enfrenta retos no imaginados en años pasados. Así, los conflictos bélicos en algunas regiones del mundo han resurgido con mayor intensidad; la crisis de los alimentos adquiere nuevamente relevancia como asunto por resolver; los nuevos brotes epidémicos han adquirido importancia para su atención; el cambio climático y el calentamiento global se han hecho presentes a través de los grandes desequilibrios ambientales. Ante este panorama, la ciencia económica intenta responder a estos nuevos escenarios para explicar qué está sucediendo. Por ello, generar estudios regionales que permitan contar con información e indicadores de las actividades humanas y su impacto en algunos de estos fenómenos es de vital importancia. En ese sentido, el presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis del efecto que tiene la producción de bienes y servicios de los países de

la región de América del Norte, sobre la emisión del principal gas de efecto invernadero: el dióxido de carbono, ya que este contribuye de manera significativa al calentamiento global y al cambio climático. Así, para contar con información sobre la vinculación entre estas dos variables se realiza un estudio que permite determinar si existe una relación de largo plazo entre ellas. Así mismo, se analiza la relación de causalidad entre estas para determinar la direccionalidad de la relación para lo cual se utilizan las técnicas de cointegración y causalidad, que permiten identificar la existencia de una relación de largo plazo y la direccionalidad de influencia de las variables.

Por lo anterior, este escrito inicia con una revisión de la literatura que relaciona las emisiones y la producción así como el uso de técnicas de cointegración y causalidad, identificando que no existen estudios para la región de Norteamérica en este rubro. En la sección dos se presenta la metodología a utilizar en el estudio, en la sección tres se realiza un análisis descriptivo de los datos utilizados. En la sección cuatro se presentan los resultados obtenidos y por último, se exponen algunas conclusiones.

1. Estado del arte

Se han desarrollado diversos estudios en los que se puede apreciar el análisis de las relaciones de causalidad y cointegración entre las variables de emisiones de dióxido de carbono y alguna variable de renta que relacione el crecimiento económico. Algunos de ellos están basados en la causalidad del consumo de energía y el crecimiento económico. Coondoo y Dinda (2002), llevan a cabo pruebas de causalidad en el sentido de Granger, concluyendo que la relación existente entre las emisiones de dióxido de carbono y el ingreso

varía de acuerdo a la región. Por su parte, Lee y Chang (2008), analizan datos en panel para 16 países asiáticos en el periodo de 1971-2006, encontrando que existe causalidad unidireccional en el largo plazo entre el consumo de energía y el crecimiento económico, Salahuddin y Khan (2013), usan datos de series de tiempo 1965-2007 para mostrar dicha relación en Australia, sus resultados sugieren que no hay una relación de cointegración entre el crecimiento económico, el consumo de energía y las emisiones en ese país.

De acuerdo a estudios como el de Han y Lee (2013), en su trabajo de un modelo dinámico de datos en panel para 19 países de la OCDE, que han firmado y ratificado el Protocolo de Kyoto, se concuerda en que una disminución significativa entre la dependencia del crecimiento económico y la contaminación, es decir, un menor nivel de contaminación se debe al progreso tecnológico. Asimismo, Bengochea, Higón y Martínez (2000), muestran disparidades en su análisis, entre los países más industrializados y el resto de una muestra de 10 países europeos en cuanto a la relación entre el crecimiento del GDP y las emisiones de CO₂ durante 1981-1995. Stern (2007), analiza el efecto del TLCAN en la eficiencia de la energía y el medioambiente en México, y plantea que hay una fuerte evidencia de convergencia entre Canadá, Estados Unidos y México hacia una menor intensidad del consumo de energía y las emisiones por unidad de PIB. Asimismo, sus resultados muestran que el crecimiento relativamente lento del ingreso nacional *per cápita* de México ayuda a impulsar la convergencia entre la intensidad de energía y las emisiones, que es reflejada en la baja tasa de cambio tecnológico. Koop (2010), por su parte, revisa datos de 44 países de 1970-1990 para investigar la relación entre el crecimiento económico y las emisiones de dióxido de carbono, demostrando que

los países más ricos presentan un progreso tecnológico que les permite economizar las emisiones.

Barassi y Spagnolo (2013), investigan los efectos entre el crecimiento económico y las emisiones de dióxido de carbono para seis países (Canadá, Francia, Italia, Japón, Reino Unido y Estados Unidos) del año 1870 a 2005, y encuentran evidencia de la retroalimentación en la causalidad de la media y volatilidad entre las emisiones y el crecimiento de la producción. Los resultados empíricos muestran que, en el largo plazo las emisiones tienden a incrementar con el PIB para todos los países considerados. El análisis de corto plazo provee información adicional mostrando que a excepción de Canadá, la producción de emisiones está disminuyendo especialmente en Italia y Estados Unidos.

Existen pocos estudios acerca de la relación existente entre el crecimiento económico, el consumo de energía y las emisiones contaminantes para México, de ellos. Gómez (2010), estudia dicha relación utilizando una metodología de ciclos económicos reales, vectores autorregresivos y pruebas de causalidad de Granger, obteniendo que los cambios en el consumo de energía y en el crecimiento económico se explican por incrementos en el consumo de energía de los sectores industrial y de transporte.

La curva de Kuznets ha sido la base de algunos análisis para demostrar la relación entre el crecimiento económico y la contaminación; es así que Campo y Olivares (2013), evalúan la relación entre el consumo de energía, las emisiones de CO_2 y el PIB para los CIVETS (Colombia, Indonesia, Vietnam, Egipto, Turquía y Sudáfrica) de 1985-2007, utilizando datos de panel no estacionarios, cointegración y pruebas de raíces unitarias, además de probar la aplicación de la curva, se demuestra que, a partir de cierto nivel de

PIB, las emisiones disminuyen. Narayan y Narayan (2010), prueban en su trabajo la curva medioambiental de Kuznets para 43 países en desarrollo, entre ellos México, donde las emisiones de dióxido de carbono han disminuido en el largo plazo.

Algunos autores basan su análisis en la relación entre las emisiones de CO₂, el consumo de energía y el crecimiento económico. Estudios como el de Magazzino (2014), para Italia, mediante la metodología de pruebas de raíz unitaria, muestra que las variables son no estacionarias en niveles, pero estacionarias en primeras diferencias y que este país debería reducir su consumo de energía para reducir las emisiones de CO₂. Soytas y Sari (2007), demuestran la relación de causalidad en el sentido de Granger entre dichas variables para Turquía; Cil (2014), muestra para ese mismo país la existencia de la relación a largo plazo entre las variables de estudio para un periodo de 1960-2007 para probar la validez de la curva de Kuznets.

Campo y Sarmiento (2013), estiman la elasticidad de la relación de largo plazo entre el GDP y el consumo de energía para 10 países de Latinoamérica de 1971 a 2010, usando la metodología de cointegración en panel de Pedroni (1999 y 2004) para probar la existencia de una relación a largo plazo entre las variables. Bhattacharyya y Goshal (2010), encuentran una relación entre las emisiones del principal gas de efecto invernadero, el CO₂, y el GDP, para una muestra de 25 países. Su análisis sugiere que la interrelación entre dichas variables es más significativa para países que tienen un nivel alto de población y de emisiones.

El trabajo de Hsiao y Chung (2010), se basa en la relación entre emisiones contaminantes, consumo de energía y producción con datos de panel para los países del grupo BRIC para el periodo

1971-2005, encontrando que en el largo plazo el consumo de energía tiene un impacto positivo en las emisiones mientras que la producción muestra un comportamiento asociado a la curva de Kuznets. Omri (2013), estudia la relación entre emisiones de CO_2 , consumo de energía y crecimiento económico usando modelos de ecuaciones simultáneas con datos en panel para 14 países MENA (Región del Medio Oriente y Norte de África) para el lapso de 1990-2011. En ese sentido, Acaravci y Ozturk (2010), estudian la relación a largo plazo entre dichas variables para 19 países Europeos utilizando la metodología de rezagos distribuidos autorregresivos, además de una relación causal entre las variables usando corrección de errores basada en los modelos de causalidad de Granger.

Así, la información anterior permite identificar una carencia de estudios sobre la relación entre las emisiones y la producción en la región de Norteamérica, por lo que a continuación se presenta la metodología a utilizar en este estudio.

2. Metodología

Para identificar la existencia de una relación de largo plazo entre variables existen diferentes técnicas que permiten analizarla. En esta investigación se utiliza la propuesta de Engle y Granger (1987), cuya fundamentación se desarrolla en este apartado. Asimismo, es de interés indagar sobre la direccionalidad de las relaciones entre diversas variables, con el objeto de construir formas funcionales adecuadas y con sustento teórico que permitan construir conocimiento novedoso. En este sentido, es que se analiza la causalidad entre emisiones y producción, para conocer, en términos formales su posible existencia.

Para el análisis de raíces unitarias Dickey y Fuller (1979), sugieren las siguientes ecuaciones para determinar la presencia o no de estas.

$$\nabla Y_t = \delta Y_{t-1} + u_t \quad (1)$$

$$\nabla Y_t = \alpha + \delta Y_{t-1} + u_t \quad (2)$$

$$\nabla Y_t = \alpha + \beta T + \delta Y_{t-1} + u_t \quad (3)$$

El parámetro de interés en las tres regresiones es δ . La diferencia entre estas regresiones considera la presencia de componentes determinísticos: Intercepto (*drift*) y tendencia (*T*). La primera es un modelo puramente aleatorio, la segunda añade un intercepto o término de deriva *drift* y la tercera incluye intercepto y un término de tendencia. Para el contraste se establecen las siguientes hipótesis:

H_0 : $\delta=0$. La Serie es no estacionaria: Tiene una raíz unitaria

H_1 : $\delta \neq 0$. La Serie es estacionaria

La prueba aumentada de Dickey-Fuller (ADF) es una versión de la prueba de Dickey-Fuller para modelos de series de tiempo mucho más grandes y complicados.

La ecuación de regresión ADF se basa en las regresiones anteriores pero aumentándolas con términos retardados de la variable como se expresa en la siguiente ecuación:

$$\nabla Y_t = \alpha + \beta T + \delta Y_{t-1} + \gamma \sum_{i=1}^p Y_{t-i} + u_t \quad (4)$$

Para el análisis de la relación de largo plazo entre las emisiones de dióxido de carbono y crecimiento económico se utiliza la propuesta de Engle y Granger (1987), la cual consiste en que, en el caso

de que el conjunto de variables del modelo esté constituido por dos variables, y_t y X_t , la relación a largo plazo entre ambas variables puede expresarse como:

$$y_t^* = \beta_0 + \beta_1 X_t + u_t \quad (5)$$

en tanto que su relación a corto plazo puede expresarse como un modelo o mecanismo de corrección de errores, CE, en tal forma que las desviaciones respecto a la tendencia a largo plazo tienden a corregirse.

Así, si en un período el valor observado de y_t es superior al de su tendencia, $E(y_t^*/X_t)$, ello supone que se producirá un ajuste en el período siguiente a través de una disminución en y_t que amortigüe esa diferencia, y si y_t es inferior a y_t^* , es de suponer que en el período siguiente se producirá un aumento de y_t que lo aproxime a su comportamiento tendencial, de forma que la relación a corto plazo puede representarse por medio de las expresiones siguientes, donde δ es un parámetro cuyo valor es menor que cero.

$$y_t = y_t^* + \delta (y_{t-1} - \beta_0 - \beta_1 X_{t-1}) \quad (6)$$

Si se aplica el operador diferencia (diferencia de orden uno) a la expresión anterior, y se sustituye y_t^* por su valor estimado en la relación (5) estimada, y se adiciona una perturbación aleatoria, v_t , se obtiene la siguiente expresión:

$$y_t = \beta_1 \nabla X_t + \beta_2 \hat{u}_{t-1} + v_t \quad (7)$$

La expresión (5) es la regresión de cointegración y la (7), el modelo de corrección de errores con relación contemporánea.

Una generalización, en donde se consideran varias variables explicativas, en cuyo caso, en el lado derecho y en las demás relaciones, aparecerán los términos correspondientes a cada una de dichas variables explicativas, y la perturbación retardada estimada, \hat{u}_{t-1} , incluirá la diferencia entre el valor retardado de y_t y una combinación lineal de los valores retardados de todas las variables explicativas.

Así en el caso de k variables explicativas, se tendría:

$$Y^*_t = \beta_1 X_{1t} + \dots + \beta_k X_{kt} + u_t \quad (8)$$

$$\nabla y_t = \beta_1 \nabla X_{1t} + \dots + \beta_k \nabla X_{kt} + \beta_{k+1} \hat{u}_{t-1} + v_t \quad (9)$$

Donde la expresión (8) es la relación de largo plazo y la (9), es el modelo de corrección de errores, que recoge información sobre el equilibrio o desequilibrio existente entre el corto y largo plazo, así como la velocidad de ajuste entre estos, en caso de existir desequilibrio.

Engle y Granger (1987), proponen estimar la relación (9), modelo CE, en dos etapas, estimando en la primera etapa por MCO la relación (7), o regresión de cointegración, para calcular \hat{u}_{t-1} y, en una segunda etapa estimar los parámetros de (9).

Como es identificado por Otero (1993), los estimadores de la primera etapa son consistentes, incluso superconsistentes en el sentido de que la convergencia de los estimadores al verdadero valor de los parámetros es más rápida de lo habitual.

PRUEBA DE CAUSALIDAD DE GRANGER

Esta prueba, propuesta inicialmente por Granger (1969), es útil solo si las variables están cointegradas. La prueba considera estimar un sistema de ecuaciones, en el caso de dos variables, el sistema es el siguiente:

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \dots + \alpha_k y_{t-k} + \beta_1 X_{t-1} + \dots + \beta_k X_{t-k} + \varepsilon_t \quad (10)$$

$$X = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1} + \dots + \alpha_k X_{t-k} + \beta_1 y_{t-1} + \dots + \beta_k y_{t-k} + u_t \quad (11)$$

En donde y y X son las variables endógenas de interés, k es el número de retardos usados, α y β son los parámetros a ser estimados; ε_t y u_t son los errores o perturbaciones aleatorias, las cuales se encuentran incorrelacionadas.

La ecuación (10) postula que y está relacionada con sus valores pasados, así como también con los valores pasados de X . La ecuación (11) plantea un comportamiento similar para X .

La principal propuesta de la prueba consiste en determinar si los parámetros asociados a las variables retardadas X e y , en las ecuaciones (10) y (11) respectivamente, son estadísticamente diferentes de cero. Esto es esencialmente lo que recogen las pruebas de hipótesis planteadas a continuación:

Hipótesis Nulas:

$$H_0: \beta_1 = \dots = \beta_k = 0 \quad X \quad \text{no causa Granger } y. \text{ No existe causalidad}$$

$$H_0: \beta_1 = \dots = \beta_k = 0 \quad y \quad \text{no causa Granger } X. \text{ No existe causalidad}$$

Hipótesis alternativas:

$$H_0: \beta_1 = \dots = \beta_k = 0 \quad X \quad \text{causa Granger } y$$

$$H_0: \beta_1 = \dots = \beta_k = 0 \quad y \quad \text{causa Granger } X$$

Estadístico para la prueba:

El estadístico F es utilizado a fin de probar la hipótesis nula de que los coeficientes de los valores retardados de las otras variables son cero, es decir:

$$H_0: \beta_1 = \dots = \beta_k = 0$$

Que es un contraste de significación conjunta.

3. Datos y fuentes de información

Para este estudio se construye una base de datos que contiene información anual del período 1991-2014 de Estados Unidos, Canadá y México. La variable de producción, Y_{it} , está representada por el Producto Interno Bruto (PIB), en dólares, a precios constantes de 2005 y las emisiones de CO₂ se representan en kilotoneladas (kt).

La información estadística de la producción y las emisiones de CO₂, procede de los Indicadores de Desarrollo Mundial, 2013, del *World Bank* (2013). Los datos correspondientes a los años 2011 a 2014, cuando ha sido necesario, han sido pronosticados utilizando

la metodología de modelos univariantes propuesta por Box & Jenkins (1976) y Box, Jenkins & Reinsel (1994). Con esta información se analiza la evolución a lo largo del tiempo de estas variables. Así, en la gráfica 1, se observa que la producción de Canadá presenta una tendencia creciente con una caída en el año 2008, esto derivado de la crisis observada en ese año en los países desarrollados.

Respecto a las emisiones de dióxido de carbono, para Canadá, la evolución se puede observar en la gráfica 2, que hasta el año 2007 mostró una tendencia creciente, sin embargo, a partir del año siguiente se identifica una caída de estas, lo cual se puede explicar por la caída de la producción en ese país, que responde al efecto desfavorable de la crisis internacional.

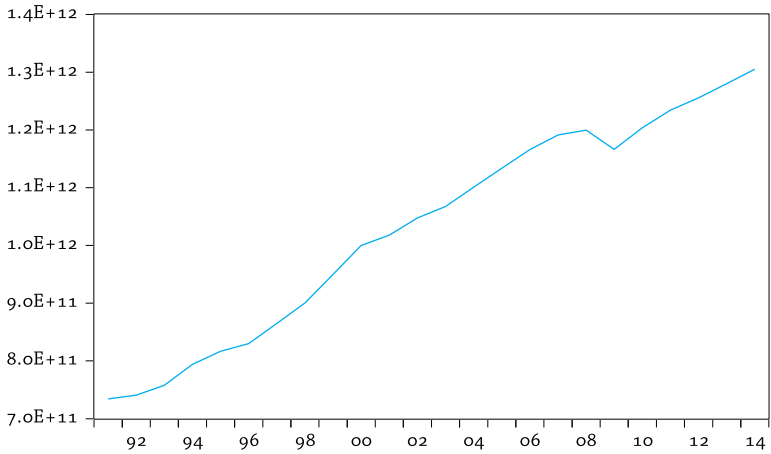
En el caso de la evolución de la producción de México, se puede observar en la gráfica 3 una tendencia creciente a lo largo del tiempo, con caídas de esta en los años 1994 y 2008, derivadas de las crisis económicas sufridas por este país en esos años. Asimismo se observa una desaceleración económica en el año 2000.

En lo que respecta a la evolución de emisiones de dióxido de carbono de México, esta muestra una fuerte tendencia creciente a lo largo del periodo de estudio, mostrando reducciones en los años de crisis económica de este país. En la gráfica 4, se identifican los años 1994 y 2008 con esas caídas.

La evolución de la producción de Estados Unidos se reporta en la gráfica 5. En él se puede observar una tendencia positiva estable con una ligera desaceleración en el año 2000 y una caída en el año 2007, mostrando una recuperación a partir del año 2009.

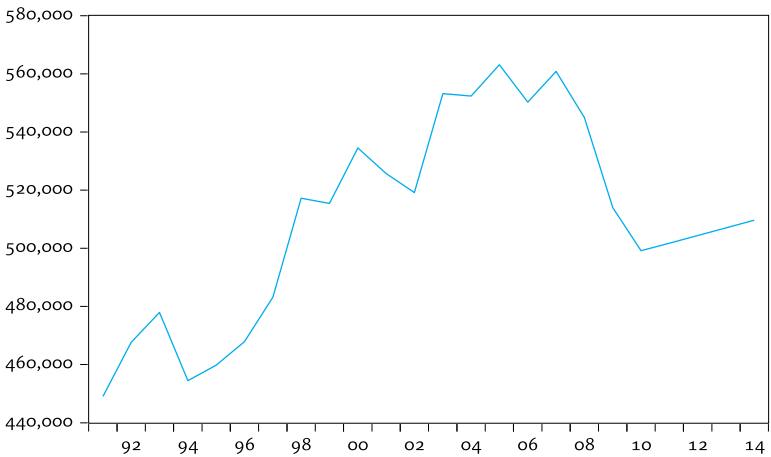
En lo que se refiere a la evolución de las emisiones de dióxido de carbono de los Estados Unidos, en la gráfica 6 se puede identificar que hasta el año 2000 mostró una tendencia positiva y casi lineal

GRÁFICA 1.
Evolución del Producto Interno Bruto de Canadá en dólares, a precios de 2005



Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

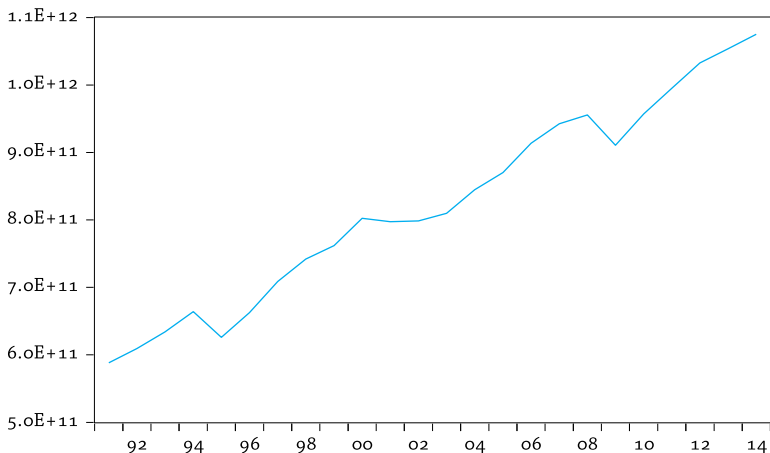
GRÁFICA 2.
Evolución en kt. de las emisiones de CO₂ de Canadá



Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

GRÁFICA 3.

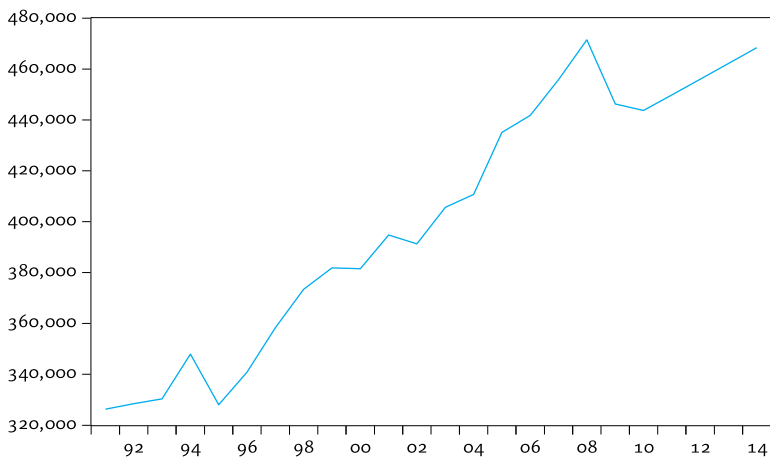
Evolución del Producto Interno Bruto de México en dólares, a precios de 2005



Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

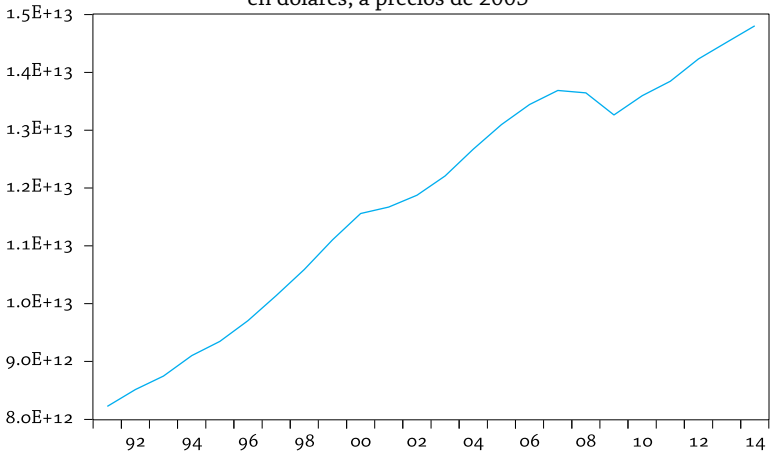
GRÁFICA 4.

Evolución en kt. de las emisiones de CO₂ de México



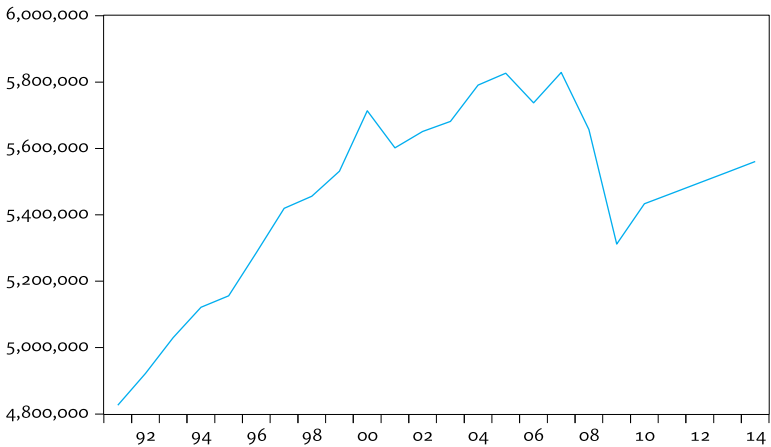
Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

GRÁFICA 5.
Evolución del Producto Interno Bruto de Estados Unidos
en dólares, a precios de 2005



Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

GRÁFICA 6.
Evolución en kt. de las emisiones de CO₂ de Estados Unidos



Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

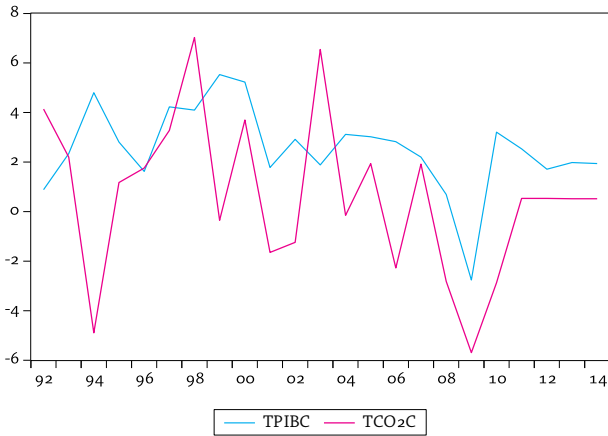
y, a partir de ese año, mostró una menor pendiente indicando una reducción de sus emisiones, reportando una caída durante los años 2007-2009, derivada del efecto de la crisis en la que se vio inmerso este país. En el año 2014 muestra un nivel de emisiones similar al que tenía en el año 2000.

Una vez analizada la tendencia de la producción y de las emisiones de CO_2 para los países de la región de norte América, se procede a identificar la manera en que ha cambiado la tasa de variación de estas dos variables en el contexto interior de las naciones. Ello permite identificar la manera en que evolucionan a través del tiempo y observar la posible existencia de una relación de largo plazo entre ellas. Así, en la gráfica 7, se muestra el caso de Canadá, en donde se identifica que, en general, la tasa de variación de las emisiones de dióxido de carbono, están por debajo de las de producción de bienes y servicios.

Asimismo, en la gráfica 8, se observa la evolución de la tasa de variación de la producción y las emisiones de CO_2 de México. Se puede identificar que ambas, en general, muestran una senda muy similar, con tasas de variación de las emisiones por debajo de las de crecimiento de la producción. Esto puede ser un indicio de la existencia de relación de largo plazo entre estas variables. Atrae la atención la caída de la tasa de variación de las emisiones en los años 2004 y 2008, en donde hubo una fuerte caída de la producción en México.

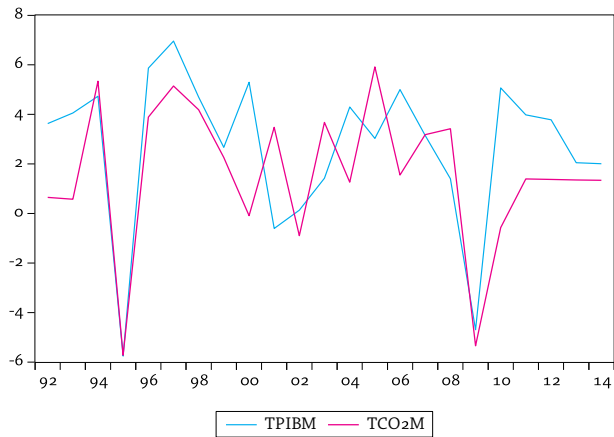
Como parte final de esta sección se analiza la evolución de la tasa de variación de la producción y de las emisiones de los Estados Unidos. En la gráfica 9, se puede identificar que en todo momento la tasa de variación de las emisiones está por debajo de la de producción, mostrando una senda relativamente similar entre ambas, lo que podría ser originado por la existencia de una relación de largo plazo entre estas variables.

GRÁFICA 7.
Tasa de variación de la producción en dólares y emisiones
de CO₂ en kt. de Canadá



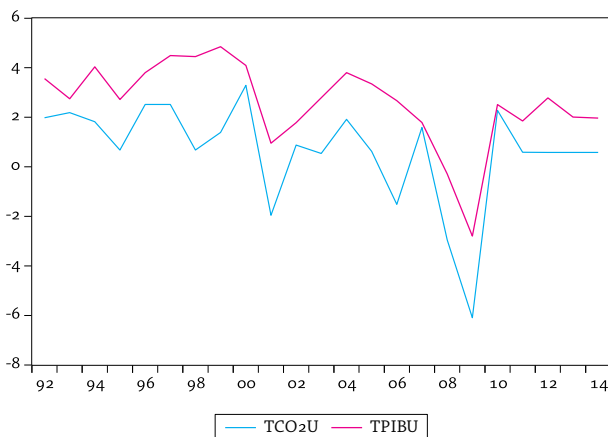
Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

GRÁFICA 8.
Tasa de variación de la producción en dólares y emisiones
de CO₂ en kt. de México



Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

GRÁFICA 9.
Tasa de variación de la producción en dólares y emisiones de CO₂ en kt. de Estados Unidos



Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

Considerando el análisis de la producción y de las emisiones de los tres países objeto de estudio, se pueden identificar las crisis económicas de estos, al tiempo del efecto que estas han tenido sobre la emisión de dióxido de carbono, reduciéndolas. Las tasas de variación de ambos indicadores permiten extraer información sobre la manera en que han evolucionado, y dan la pauta para inferir que existe la posibilidad de una relación de largo plazo entre estas.

4. Resultados

Contar con una base de datos homogenizada ha permitido aplicar la metodología propuesta para este análisis. De ello, tras contar con las ecuaciones (1)-(3) como referencia, se ha realizado el contraste correspondiente a la ecuación (4), identificándose que tanto las tasas de variación de la producción de los países como las de emisiones de dióxido de carbono son $I(0)$; lo que ha permitido estimar la ecuación (5) y verificar que existe una relación de largo plazo entre las variables. En el cuadro 1, se identifica el orden de integración de las variables involucradas en la regresión cointegrante, donde se observa que no existe problema de raíz unitaria en ninguna de ellas.

CUADRO 1.
Resultados del contraste de Raíz unitaria

Variable	Orden de integración	Descripción
Tpibcan	I(0)	Tasa de variación del PIB de Canadá
Tco2can	I(0)	Tasa de variación de las emisiones de kilo toneladas de CO ₂ de Canadá
Tpibmex	I(0)	Tasa de variación del PIB de México
Tco2mex	I(0)	Tasa de variación de las emisiones de kilo toneladas de CO ₂ de México
Tpibusa	I(0)	Tasa de variación del PIB de Estados Unidos
Tco2usa	I(0)	Tasa de variación de las emisiones de kilo toneladas de CO ₂ de Estados Unidos

Fuente: Elaboración propia a partir de *World Bank* (2013).

Asimismo, en el cuadro 2 se reportan los resultados de las estimaciones de las regresiones cointegrantes, que son utilizadas para obtener los residuales y poder realizar el análisis sobre la naturaleza del orden de integración.

CUADRO 2.
Regresiones de largo plazo. Variable dependiente: emisiones de CO_2

Variable dependiente	Regresor	Coefficiente	Desv. estandar
Tco2can	intercepto	-0.72	1.18
	Tpibcan	0.52	0.38
Tco2mex	intercepto	-0.08	0.62
	Tpibmex	0.63	0.15
Tco2usa	intercepto	-2.06	0.43
	Tpibusa	1.03	0.14

Fuente: Elaboración propia a partir de *World Bank* (2013).

Tras realizar las regresiones de largo plazo para Canadá, México y Estados Unidos, se analizan los residuales, lo cual es reportado en el cuadro 3, en donde se observa que no existe problema de raíz unitaria (variables rec, rem y reu, respectivamente), implicando que las tasas de variación de emisiones de CO_2 y de la producción están cointegradas, es decir, que tienen una relación de largo plazo. Este resultado es consistente con el de Koop (2010), en el sentido de la existencia de una relación entre ambas variables, así como con el de Barassi y Spagnolo (2013), en el mismo sentido. De igual manera, el resultado es también consistente con el de Cil (2014), en cuanto a la existencia de relación de largo plazo entre emisiones y crecimiento económico.

CUADRO 3.
Resultados del contraste de Raíz unitaria

Variable	Orden de integración	Descripción
rec	I(0)	Residuales de la ecuación cointegrante de Canadá
rem	I(0)	Residuales de la ecuación cointegrante de México
reu	I(0)	Residuales de la ecuación cointegrante de Estados Unidos

Fuente: Elaboración propia a partir de *World Bank* (2013).

Una vez identificada la existencia de una relación de largo plazo entre el crecimiento de las emisiones contaminantes y de la producción, se realiza el análisis de la relación de corto plazo entre estas. En el cuadro 4, se reporta el resultado de las estimaciones del modelo de corrección de errores (ecuación (7) para cada país. Los coeficientes de interés son los asociados al regresor \hat{u}_{t-1} en la regresión de cada país. Como se observa, los tres son significativos, lo que se traduce en la existencia de desequilibrio entre corto y largo plazo, sin embargo, el mecanismo de corrección de errores indica que el ajuste es casi inmediato (a un periodo de tiempo, en este caso, a un año). Estos resultados permiten inferir que, por ejemplo, la generación o existencia de políticas públicas supranacionales coordinadas y de largo plazo, para mitigación de las emisiones de dióxido de carbono, debidas a la producción de bienes y servicios, pueden tener un efecto favorable para el medio ambiente futuro.

CUADRO 4.
Regresiones de corto plazo. Variable dependiente: emisiones de CO_2

Variable dependiente	Regresor	Coefficiente	Desv. estandar	
VTco2can	intercepto	-0.18	0.65	
	VTpibcan	0.22	0.32	
	\hat{u}_{t-1}	-1.05	0.21	Significativo al 0.01%
VTco2mex	intercepto	0.05	0.44	
	VTpibmex	0.49	0.09	
	\hat{u}_{t-1}	-1.38	0.20	Significativo al 0.01%
VTco2usa	intercepto	-0.003	0.23	
	VTpibusa	1.24	0.14	
	\hat{u}_{t-1}	-1.10	0.21	Significativo al 0.01%

Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2013).

Finalmente, a partir de que se ha identificado la existencia de cointegración, se realiza el análisis de causalidad entre las variables consideradas en este estudio para identificar la direccionalidad de la relación. Así, siguiendo la propuesta de Granger (1969), se hace la estimación de las ecuaciones (10) y (11) para realizar los contrastes de hipótesis asociados a dicha propuesta.

En el cuadro 5, se puede observar al estadístico F y el p -value asociado a cada hipótesis nula planteada. Como se aprecia, no existe evidencia para rechazar las hipótesis nulas en las relaciones de causalidad de emisiones hacia producción, sin embargo, en el caso de direccionalidad de producción hacia emisiones, para el caso de Canadá, la causalidad es débil (nivel de significancia de 10%), para México, la causalidad es fuerte (nivel de significancia de 5%). En el caso de Estados Unidos no hay causalidad.

CUADRO 5.
 Contrastes de causalidad en el sentido de Granger

Hipótesis nula	F-estadístico	p-value
TCO2C no causa en sentido de Granger a la TPIBC	1.32	0.26
TPIBC no causa en sentido de Granger a la TCO2C	3.21	0.08
TCO2M no causa en sentido de Granger a la TPIBM	1.97	0.17
TPIBM no causa en sentido de Granger a la TCO2M	4.69	0.04
TCO2U no causa en sentido de Granger a la TPIBU	0.70	0.41
TPIBU no causa en sentido de Granger a la TCO2U	2.25	0.14

Fuente: Elaboración propia a partir de *World Bank* (2013).

Derivado de los resultados obtenidos respecto a la relación de largo plazo entre las tasas de variación de las emisiones contaminantes y de la producción de Canadá, México y Estados Unidos, así como relación de corto plazo de estas y de la direccionalidad de la propia relación, en el apartado siguiente se reportan las principales conclusiones del estudio.

CONCLUSIONES

La evolución de las variables de producción y emisiones a través del tiempo ha permitido identificar la posible existencia de una correlación entre ambas. La observación de la evolución permite identificar que, en los momentos en que ha habido crisis económicas en los

países objeto de estudio, se ha contribuido a un proceso ahorrador de emisiones contaminantes por parte de estas naciones. El análisis de cointegración ha permitido identificar la existencia de una relación de largo plazo entre las tasas de variación de las emisiones de dióxido de carbono y de la producción en los tres países. Asimismo, el análisis de corto plazo ha ofrecido la posibilidad de identificar el mecanismo de corrección de errores. Ello permite inferir la existencia de desequilibrio entre el corto y el largo plazo, pero que sin embargo, el proceso de reducción del desequilibrio (y por tanto de ajuste) es muy rápido, a un solo periodo. Del mismo modo, respecto a la direccionalidad de la relación entre las variables analizadas, la lógica inicial podría referir a que la direccionalidad va de producción a emisiones, dado que si se produce más, se emite más CO_2 . De ello, el análisis de la causalidad en el sentido de Granger no reporta la existencia de direccionalidad de la relación de emisiones hacia producción, no obstante que la direccionalidad de producción hacia emisiones resulta ambigua entre los países analizados.

BIBLIOGRAFÍA

- Acaravci, A. y I. Ozturk (2010) "On the relationship between energy consumption, CO₂ and economic growth in Europe" en *Energy*, núm. 35.
- Barassi, M. y N. Spagnolo (2012) "Linear and Non-Linear Causality between CO₂ Emissions and Economic Growth" en *The Energy Journal*, núm. 3.
- Bengochea, A., F. Higón y I. Martínez (2001) "Economic growth and CO₂ emissions in the European Union" en *Environmental and Resource Economics*, núm. 2.
- Bhattacharyya, R. y T. Ghoshal (2010) "Economic growth and CO₂ emissions" en *Environment, Development and Sustainability*, núm. 2.
- Box, G. y G. Jenkins (1976) "Time series analysis forecasting and control" en *Prentice Hall*, New Jersey, USA.
- Box, G., G. Jenkins y G. Raisel (1994) "Time series analysis forecasting and control" en *Prentice Hall*, New Jersey, USA.
- Campo, J. y W. Olivares (2013) "Relación entre las emisiones de CO₂, el consumo de energía y el PIB: el caso de los CIVETS" en *Semestre Económico*, núm.33.
- Campo, J. y V. Sarmiento (2013) "The relationship between energy consumption and GDP: evidence from a panel of 10 Latin American countries" en *Journal of Economics*, núm. 2.
- Cil, N. (2014) "CO₂ Emission, Energy Consumption, and Economic Growth for Turkey: Evidence from a Cointegration Test With a Structural Break" en *Energy Sources*, núm. 9.
- Coondoo, D. y S. Dinda (2002) "Causality between Income and Emission: A Country Group-specific Econometric Analysis" en *Ecological Economics*, núm. 3.
- Engle, R. y C. Granger (1987) "Co-integration and error correction: representation, estimation and testing" en *Econometrica*, núm. 35.

- Gómez, C. (2010) “Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana” en *Revista Puente*, núm. 9.
- Granger, C. (1969) “Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods” en *Econometrica*, núm. 37.
- Han, C. y H. Lee (2013) “Dependence of economic growth on CO2 emissions” en *Journal of Economic Development*, núm. 1.
- Hsiao y Chung (2010) “CO2 emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries” en *Energy Policy*, núm. 38.
- Koop, G. (1998) “Carbon dioxide emissions and economic growth: A structural approach” en *Journal of Applied Statistics*, núm. 4.
- Lee, C. y P. Chang (2008) “Energy Consumption and Economic Growth in Asian Economies: A More Comprehensive Analysis Using Panel Data” en *Resource and Energy Economics*, núm. 30.
- Magazzino, C. (2014) “The relationship between CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Italy” en *International Journal of Sustainable Energy*.
- Narayan, P. y S. Narayan (2010) “Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from developing countries” en *Energy Policy*, núm. 38.
- Omri, A. (2013) “CO2 emissions, energy consumption and economic growth nexus in MENA countries: Evidence form simultaneous equations models” en *Energy Economics*, núm. 40.
- Otero, J. (1993) *Econometría. Series Temporales y Predicción*, Ed. AC, Madrid.
- Pedroni, P. (1999) “Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressor” en *Oxford Bull. Econ*, núm. 61.
- Pedroni, P. (2004) “Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of pooled time series with an application to the PPP hypothesis” en *Economic Theory and Econometrics*, núm. 20.

- Salahuddin, M. y S. Khan (2013) "Empirical link between economic growth, energy consumption and CO₂ emission in Australia" en *The Journal of Developing Areas*, núm. 2.
- Soytas, U. y R. Sari (2007) "The relationship between energy and production: Evidence from Turkish manufacturing industry" en *Energy Economics*, núm 6.
- Stern, D. (2007) "The effect of NAFTA on Energy and Environmental Efficiency in Mexico" en *The Policy Studies Journal*, núm. 2.
- World Bank (2013) *World Development Indicators*, Washington, D.C.