

BRECHA DE DESIGUALDAD EN EMISIONES DE CO₂ Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: ¿CONVERGENCIA O DIVERGENCIA EN LA REGIÓN DE NORTE AMÉRICA?

*Dr. Osvaldo U. Becerril Torres*¹

*Dr. Rosa M. Nava Rogel*²

RESUMEN

En el siglo XXI uno de los retos que enfrentan la ciencia económica y la regional es explicar el vínculo entre las actividades económicas y las emisiones de gases de efecto invernadero, en el ámbito de las regiones supranacionales. Ante esto, se han realizado estudios sobre causalidad y cointegración de la producción de bienes y servicios y las emisiones de dióxido de carbono, principal gas del efecto invernadero. Ello ha contribuido a formalizar dicho vínculo. Sin embargo en la literatura no se ha considerado la formalización matemática de una forma funcional que permita construir un modelo econométrico vinculante entre ambas variables. Aunado a ello, no se identifican estudios vinculantes para la región de Norte América a pesar de su importancia económica, que permitan identificar su comportamiento y evolución. Por ello, el objetivo de esta investigación es identificar la brecha existente entre las emisiones de dióxido de carbono y el crecimiento económico, la brecha de desigualdad de estas entre los países de la región de norte América-zona NAFTA, así como determinar el efecto que tiene la producción de bienes y servicios sobre las emisiones de dióxido de carbono, CO₂, principal gas de efecto invernadero, en la región de norte América. Para ello se construyen índices que permiten observar la

¹ **Becerril-Torres.** Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Economía, Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México. C.P. 50120. Teléfono: 01 722 213 1374. Correo electrónico: obecerrilt@uaemex.mx

² **Nava-Rogel.** Doctora en Ciencias Económico-administrativas Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Contaduría y Administración, Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México. C.P. 50120. Teléfono: 01 722 214 02 50. Correo electrónico: rosanr06@yahoo.com.mx

evolución de las variables, y se calcula el coeficiente de variación para determinar la brecha de desigualdad de las variables entre los países. Así también se utiliza un panel de datos para la construcción de un modelo econométrico que permite identificar la relación entre ellas. Entre los principales hallazgos se ha identificado que la brecha entre emisiones contaminantes y producción de bienes y servicios se ha venido ampliando a través del tiempo, lo mismo ocurre con la brecha de desigualdad de emisiones entre países, no así entre producción de bienes y servicios, la cual se ha venido reduciendo. Finalmente se identifica que en la región de norte América con el crecimiento económico, se está dando un proceso ahorrador de emisiones de CO₂.

Palabras clave: Crecimiento económico, emisiones de CO₂, números índice.

INTRODUCCIÓN

Uno de los retos que enfrenta la ciencia económica en la época contemporánea es medir y explicar el efecto que tiene el crecimiento económico sobre la contaminación ambiental. Para hacer frente a esto, se ha implementado el uso de técnicas estadísticas y econométricas que permitan identificar su articulación y contribuir a su entendimiento de manera que oriente la toma de decisiones que incida en la manera de hacer frente al cambio climático.

Ello ha motivado diferentes estudios y propuestas. La mayoría construye modelos en los que se relacionan las variables ambientales con las económicas sin algún sustento teórico o empírico, centrando los análisis en la lógica de que la producción genera contaminación. Estudios más serios han centrado su atención en utilizar técnicas matemáticas, estadísticas y econométricas que aporten una justificación formal del vínculo entre ambos tipos de variables. De ello, se pueden distinguir dos grandes vertientes: las que tienen como base estudios de cointegración, y las que se fundamentan en estudios de causalidad en el sentido de Granger (Granger, 1969). Es así como se han elaborado diversas investigaciones en las que la ciencia económica

contribuye al análisis medioambiental utilizando variadas técnicas para vincular las emisiones del principal gas de efecto invernadero, el dióxido de carbono, CO₂, con la actividad económica. Algunos han estudiado la causalidad entre crecimiento económico y emisiones de CO₂ (Soytasa y Saria (2009); Hsiao y Chung (2010); Acaravci y Ozturk (2010); Ozturk y Acaravci (2010); Apergis y Payne (2010); Sharif (2011); Farhani y Ben (2012); El-Hedi et.al. (2012). Otros el efecto en el largo plazo de las emisiones en países desarrollados, entre estas investigaciones destacan las de Tucker (1995); Narayan y Narayan (2010); Bhattacharyya y Ghoshal (2010); Acaravci y Ozturk (2010). Así mismo, estudios como los de Koop (1998) y Bengochea et.al. (2001) son realizados para el ámbito regional.

Los estudios sobre causalidad contribuyen en esta investigación para justificar la direccionalidad de la causalidad, que va del crecimiento económico hacia las emisiones de CO₂ y, los estudios que se refieren a la relación de largo plazo son orientados para justificar la discusión de los resultados obtenidos en este análisis, *versus* los encontrados en investigaciones previas.

En el ámbito regional se identifican estudios para Europa e incluso para el norte de África, sin embargo, no se han registrado estudios para la región de América del Norte. Es así que surge el interés por identificar el efecto del crecimiento económico sobre las emisiones de CO₂ en esta región, dada su importancia económica. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es determinar la relación que existe entre la producción de bienes y servicios y la producción de dióxido de carbono en la región de norte América, proponiendo una forma funcional en el contexto de la formalización matemática para la estimación econométrica. Para ello, en la sección dos se presenta la metodología utilizada para el tratamiento de los datos. En la sección tercera se presenta la característica de los datos y sus fuentes de información. En la cuarta, se

reportan los resultados obtenidos y, en la sección cinco se presentan las principales conclusiones.

2. METODOLOGÍA

La construcción de números índice permite analizar la evolución de una variable a lo largo del tiempo sin tener en consideración las unidades de medida originales, lo cual ofrece la posibilidad de comparar dos o más variables de términos adimensionales, realizando el contraste en términos de un momento temporal de referencia. Ello evita el problema de comparación frente a diferentes unidades de medición de las variables, de tal manera que sólo toma en cuenta los cambios relativos.

Con un número índice es posible estudiar las variaciones de una magnitud en relación al tiempo (y también al espacio). Los números índice permiten conocer la magnitud de un fenómeno, así como realizar comparaciones del mismo en distintas regiones de manera contemporánea o bien a lo largo del tiempo. Una forma de construir un índice es referir cada situación a la anterior, pero es más adecuado escoger una situación o momento particular como punto de referencia inicial, para remitir a ella, o respecto a ella, todas las demás observaciones. Esta situación es denominada momento base, y las comparaciones que se llevan a cabo son realizadas a través de un número índice. Los números índices proporcionan comparaciones entre datos correspondientes a diferentes situaciones.

Se define a I_t^E como el Número Índice de un determinado valor en el período t , respecto al período base 0. Este se puede obtener a través de la siguiente expresión:

$I_0^t = \frac{X_t}{X_0}$, donde X_t representa el valor de la variable X en el período t y X_0 el valor en el periodo

inicial, 0.

Un procedimiento habitual para elaborar un número índice de carácter simple, y representarlo en términos porcentuales, es asignar al periodo que es objeto de referencia el valor 100, y de esta manera los números índice de las distintas observaciones posteriores, no son otra cosa que porcentajes de cada valor con respecto al de la referencia.

Así mismo, el coeficiente de variación permite observar la evolución de una variable en términos de cambios porcentuales de la desviación estándar respecto a la media. Este es utilizado en este trabajo para investigar si existe disminución de la brecha de desigualdad de las variables a lo largo del tiempo, lo que permitirá argumentar la existencia de convergencia en esta; en caso contrario, existirá evidencia de divergencia. Como es sabido, el coeficiente de variación se obtiene como el cociente entre la desviación estándar y la media aritmética, la cual se requiere sea expresada en valor absoluto. Así, el coeficiente de variación se expresa como:

$$CV = \frac{\sigma}{abs \mu}$$

Donde σ es la desviación estándar y $abs \mu$ es la media aritmética de la variable. El CV puede ser expresado en términos porcentuales si el resultado del cociente se multiplica por 100. Así, un mayor coeficiente de variación mostrará mayor heterogeneidad en la variable por lo que puede ser interpretado como la brecha de desigualdad en la variable y, si se utilizan números índice, representará la brecha de desigualdad en el índice de la variable. Así también, en el otro extremo, un coeficiente de variación pequeño mostrará una mayor homogeneidad en la variable, y ello podrá ser considerado como sinónimo de convergencia o reducción de la brecha de desigualdad.

2.1 Modelo teórico

Considérese el modelo lineal general:

$$Y = XB + \varepsilon \quad 1)$$

Donde Y es un vector columna de tamaño $n \times 1$, que contiene la información asociada a la variable endógena. La información relacionada a las variables explicativas se recoge en una matriz X de tamaño $n \times k$; los parámetros a ser estimados en un vector β de tamaño $k \times 1$ y las perturbaciones en un vector ε de tamaño $n \times 1$. Estas suponen: $E(\varepsilon) = 0$; $var(\varepsilon) = E(\varepsilon\varepsilon^T) = \sigma^2 I$. Para la estimación de los parámetros B se plantea una función de producción de tipo Cobb-Douglas:

$$W_{it} = AK_{it}^{\beta_1} L_{it}^{\beta_2} \quad 2)$$

Que en términos lineales se representa como

$$\ln W_{it} = \ln A_{it} + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \varepsilon_{it} \quad 3)$$

Donde $\ln W_{it}$, $\ln A_{it}$, $\ln K_{it}$, $\ln L_{it}$ son los logaritmos neperianos de las emisiones de CO_2 , del factor de productividad, del capital o la inversión y del factor trabajo o empleo, para la unidad de análisis i en el momento de tiempo t . Adicionalmente $\ln A = \beta_0$.

Si se asume que las emisiones de CO_2 pueden ser expresadas en términos de kilogramos por dólar de producción, entonces es posible representar el siguiente cociente:

$$\ln W_{it} = \ln \left(\frac{ktCO_{2,it}}{GDP_{it}} \right) \quad 4)$$

Sustituyendo 4 en 3 se tiene

$$\ln \left(\frac{ktCO_{2,it}}{GDP_{it}} \right) = \beta_0 + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \varepsilon_{it} \quad 5)$$

Que algebraicamente se puede expresar como:

$$\ln ktCO_{2,it} = \beta_{0,it} + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln GDP_{it} + \varepsilon_{it} \quad 6)$$

Donde $\ln W_{it}$, $\ln K_{it}$, $\ln L_{it}$ y $\ln GDP$ son el logaritmo neperiano de las emisiones de CO_2 , del capital o la inversión, del factor trabajo o empleo y del Producto Interno Bruto (GDP por sus

siglas en inglés: *Gross Domestic Product*); β_0 , β_1 , β_2 , y β_3 son los parámetros a estimar y representan las elasticidades de las variables correspondientes. Los tres primeros son los habituales de este tipo de funciones de producción. De particular interés es el parámetro β_3 ya que representa la sensibilidad de las emisiones de dióxido de carbono ante cambios en el nivel de producción. Si $\beta_3 > 0$ significa que cambian en el mismo sentido la producción y las emisiones. Si $\beta_3 < 0$ es un indicativo que el crecimiento económico provoca una reducción o proceso ahorrador en las emisiones de CO₂. Se espera un signo negativo de β_3 dado que, con el crecimiento económico, las emisiones de CO₂ deberían reducirse en los países de la muestra, evidenciando que los países presentan avances tecnológicos ahorradores de emisiones de CO₂, cuya implicación es que se amplía la brecha entre la producción de ambas variables.

La expresión 6) es considerada como referencia para construir el modelo de datos en panel e identificar el efecto que tiene el crecimiento económico de la región de América del Norte sobre las emisiones de dióxido de carbono en ésta.

3. DATOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para este estudio se construye una base de datos tipo panel, que contiene información anual del período 1990-2013 de Estados Unidos, Canadá y México. La variable de producción, Y_{it} , es representada por el Producto Interno Bruto, PIB, en dólares, a precios constantes de 2005, los insumos de producción, los X_{it} , se incorporan a través de la inversión, que corresponde a la Formación Bruta de Capital Fijo, FBCF, en dólares, a precios constantes de 2005, y el empleo, L , que hace referencia a la fuerza laboral total. Las emisiones de CO₂ se representan en kilotoneladas y en kilogramos por dólar de GDP a precios de 2005.

La información estadística de la producción, la inversión, el empleo 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 2013, cuando ha sido necesario, han sido pronosticados utilizando la metodología de modelos univariantes propuesta por Box & Jenkins (1976) y Box, Jenkins & Reinsel (1994).

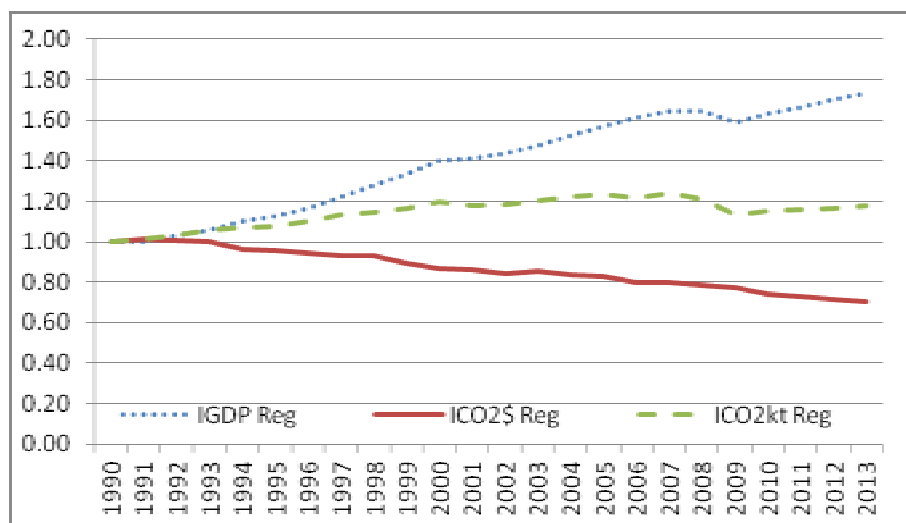
Con estos datos se han construido números índices para observar de una manera sintética la evolución del indicador, evitando el efecto tamaño de la variable, y hacerlos comparables ante las diferentes unidades de medida, por lo que se relativizaron respecto a 1990 que se considera como el año base. De esta manera, se elimina el problema de las distintas unidades en las que están expresadas las variables observables, consiguiendo normalizarlas de manera homogénea. Así mismo, se ha utilizado la econometría de *panel data* para la estimación del efecto del crecimiento económico sobre las emisiones de dióxido de carbono.

4. RESULTADOS

La transformación a números índice de las variables básicas permite observar que las variaciones del índice del GDP³ de la región presentan una tendencia creciente, con una reducción en la crisis económica que inicia en 2007, afectando de manera favorable a la reducción de las emisiones de kilotoneladas de dióxido de carbono, como se observa en el gráfico 1. Así mismo, el indicador de emisiones de kilogramos de CO₂ por dólar de producción reporta una tendencia decreciente ante el crecimiento del GDP, ampliando la brecha existente entre estos.

³ Los datos que dan origen a los gráficos de los índices y de las tasas de variación de los mismos se pueden consultar en el Anexo A-1.

Gráfico 1. Índices de GDP, kilotoneladas de CO₂ y kilogramos por dólar de GDP de la región NAFTA.

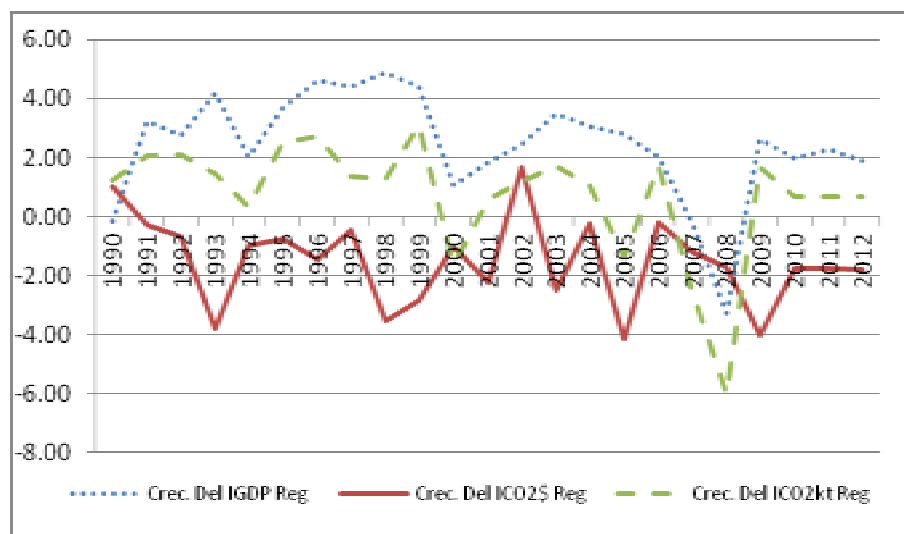


Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

Para observar cómo han evolucionado los índices de producción, emisiones de dióxido de carbono en kilotoneladas y las emisiones de CO₂ en kilogramos por dólar de producción, se ha calculado la tasa de variación para la región NAFTA. En el gráfico 2 se reporta su evolución a través del periodo de estudio. Como se observa, la variación del índice del GDP mantiene una tendencia relativamente estable hasta el año 2007, a partir del cual muestra valores negativos, derivado de la crisis económica que inicia ese año, hasta alcanzar su valor más bajo en el año 2008. Este acontecimiento tuvo un efecto favorecedor en la reducción de emisiones ya que el índice de emisiones en kilotoneladas de dióxido de carbono, muestra una caída de hasta 6% en el año 2008, que es el momento en que la crisis económica fue más severa.

Así también, como se observa en el gráfico 2, las variaciones del índice de emisiones de CO₂ por dólar de GDP generado, muestran valores negativos, lo que permite interpretar que a medida que crece el GDP, las emisiones de CO₂ por unidad monetaria de producción se reducen.

Gráfico 2. Tasa de variación de los índices de GDP, kilotoneladas de CO₂ y kilogramos por dólar de GDP de la región NAFTA.

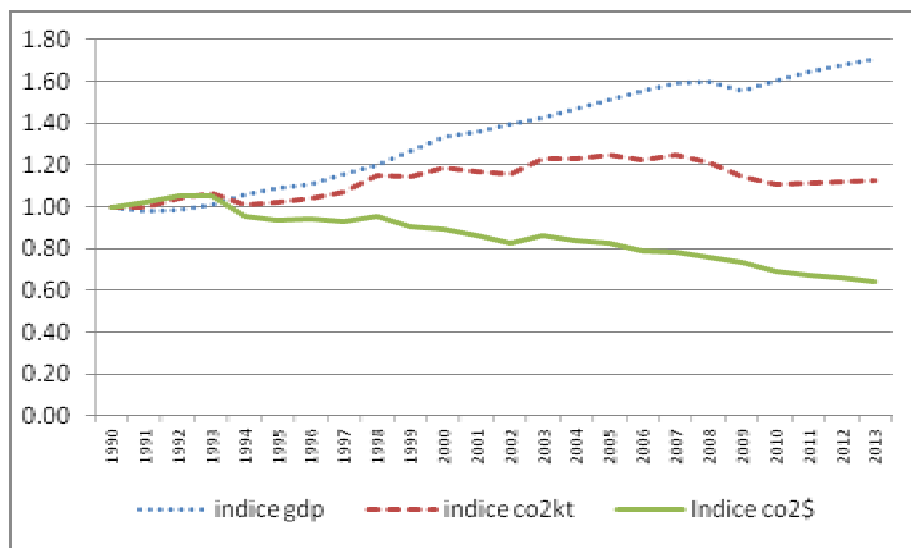


Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

Para obtener una visión individual de los países de la región NAFTA, se construyeron los mismos indicadores que se obtuvieron para la región. Esto permite observar la evolución de estos índices en cada país y poder identificar la heterogeneidad u homogeneidad existente entre ellos en materia de reducción de emisiones del principal gas de efecto invernadero. Así, el gráfico 3 reporta la evolución de los indicadores de Canadá. Como se observa, el índice de producción muestra una tendencia creciente, lo que refleja que éste país mantiene un nivel de crecimiento estable, incluso, mostrando apenas una ligera desaceleración durante la crisis económica de los años 2007-2009. Por lo que se refiere al índice de emisiones de kilotoneladas de dióxido de carbono, éstas apenas han mostrado un ligero crecimiento en el periodo de estudio y, al igual que el indicador regional, muestra una reducción durante la crisis 2007-2009. Es de destacar que el indicador de emisiones en kilogramos por dólar de producción reporta una tendencia descendente, lo que indica que con el aumento de la producción, las emisiones de CO₂ se reducen y, como se puede observar en el gráfico 3, la brecha es cada vez mayor, lo

que implica para la economía canadiense es que, con el crecimiento económico, se está dando un proceso que se puede denominar como ahorrador de emisiones de dióxido de carbono.

Gráfico 3. Índices de GDP, kilotoneladas de CO₂ y kilogramos por dólar de GDP de Canadá.

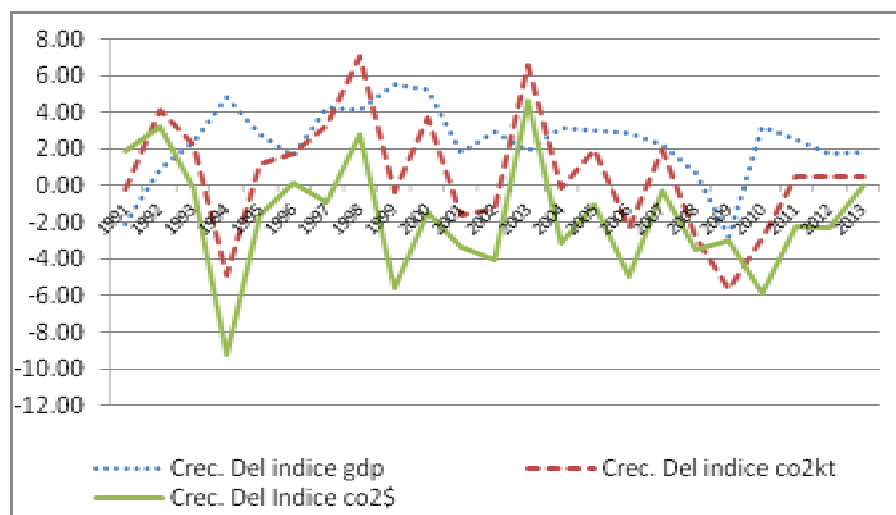


Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

El análisis de la tasa de variación de los indicadores de Canadá muestra que, en el caso del índice de GDP es muy baja, de aproximadamente 2%, con una tendencia descendente, implicando una ligera desaceleración económica durante el periodo de estudio. Por lo que respecta a la tasa de variación de las emisiones en kilotoneladas de CO₂ se observa una

tendencia decreciente, lo que se interpreta durante el periodo de análisis, como una reducción de las emisiones (véase gráfico 4). Por último, las emisiones en kilogramos de CO₂ por dólar de producción, al igual que los dos indicadores anteriores, muestran una tendencia decreciente, lo que confirma que este país presenta un proceso ahorrador de este tipo de emisiones.

Gráfico 4. Tasa de variación de los índices de GDP, kilotoneladas de CO₂ y kilogramos por dólar de GDP de Canadá.

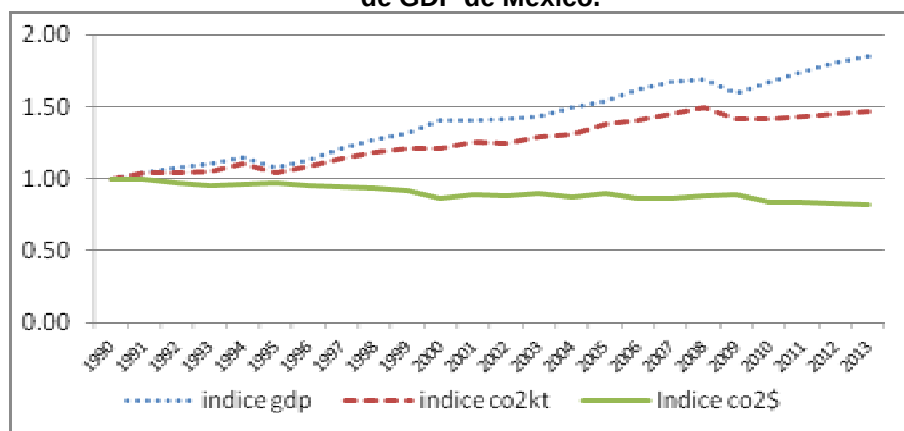


Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

En el caso de México, el índice de producción reporta una tendencia estable con mayor dinamismo respecto al de Canadá. Por su parte, el indicador de emisiones de dióxido de carbono en kilotoneladas es inferior al de producción, por lo que se puede afirmar que para este país se observa un proceso ahorrador de emisiones.

En lo que se refiere al índice de generación de kilogramos de emisiones por dólar de producción, como se observa en el gráfico 5, éste tiene una pendiente ligeramente negativa, lo que permite decir que, a medida que aumenta la producción de bienes y servicios en la economía mexicana, disminuye la producción de dióxido de carbono.

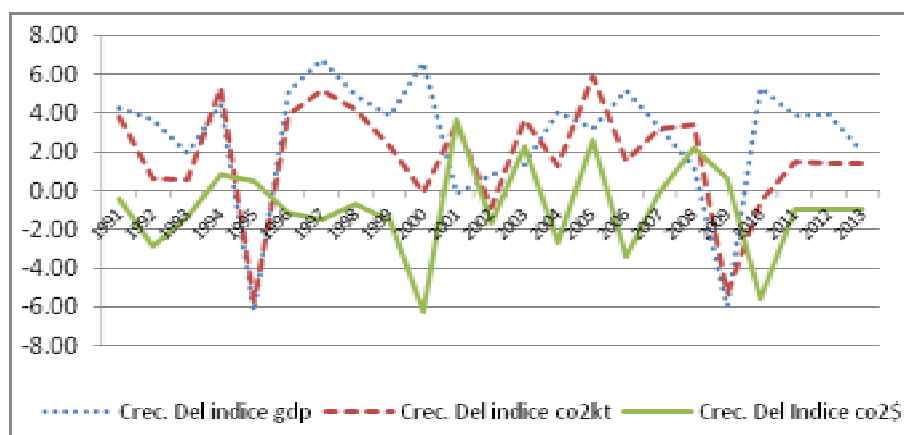
Gráfico 5. Índices del GDP, kilotoneladas de CO₂ y kilogramos por dólar de GDP de México.



Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

En el caso de las tasas de variación de los índices para México, como se observa en el gráfico 6, estas muestran en el de GDP que tiene una tendencia ligeramente descendente, con recesiones en los años previos a las crisis de 1995, 2002 y 2009 y crecimiento casi nulo en los años 1995, 2001-2002 y 2009. Esto tuvo un efecto favorable para la reducción de emisiones de CO₂ en la economía mexicana, ya que en estos años la tasa de variación de las emisiones en kilotoneladas fue negativa. Por su parte, la tasa de variación de las emisiones en kilogramos por dólar de producción se ha mantenido estable durante el periodo de estudio, con un valor que deambula alrededor de cero.

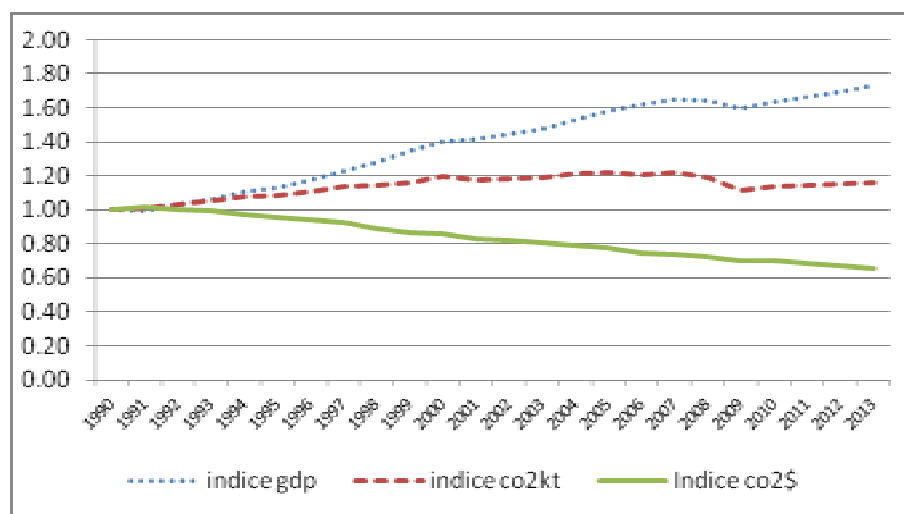
Gráfico 6. Tasa de variación de los índices de GDP, kilotoneladas de CO₂ y kilogramos por dólar de GDP de México.



Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

Por su parte, la producción de Estados Unidos presenta una tendencia creciente, con desaceleraciones que inician en el año 2000 y en 2006. Esta última, con inicio de recuperación hasta 2009. Esto aporta un elemento favorecedor a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono de este país, ya que como se observa en el gráfico 7, durante estos años se identifica una caída de los indicadores de producción y de emisiones. Por lo que se refiere al índice de emisiones de kilogramos de CO₂ por dólar de producción, este muestra una pendiente negativa, menor respecto a la de Canadá, sugiriendo la existencia de un proceso ahorrador de emisiones en la producción de bienes y servicios en este país.

Gráfico 7. Índices del GDP, kilotoneladas de CO₂ y kilogramos por dólar de GDP de Estados Unidos.

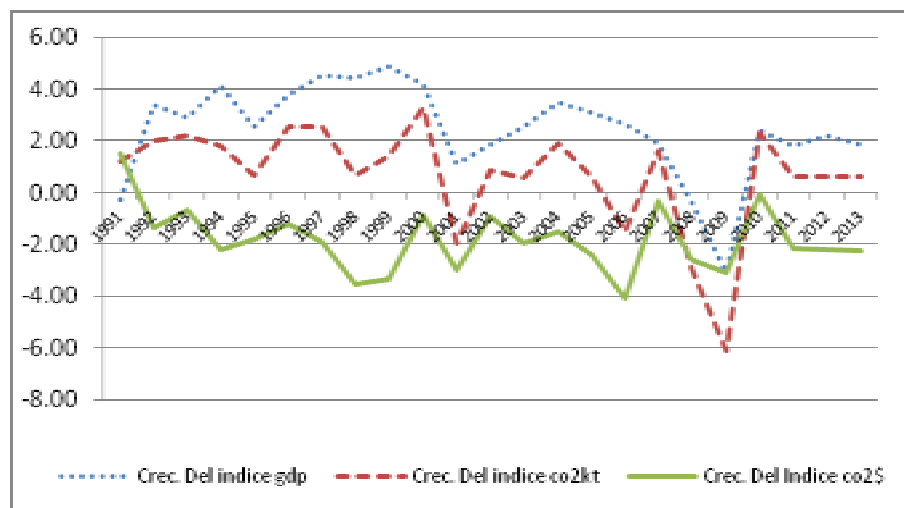


Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

El análisis de las tasas de variación de los indicadores de Estados Unidos muestra que la producción ha tenido tasas de crecimiento durante la mayor parte del periodo de análisis, con excepción del periodo de crisis económica de los años 2007-2009. Por su parte, la tasa de variación de las emisiones de kilotoneladas de CO₂ en este país es muy sensible al comportamiento de la producción. Si ésta crece, las emisiones también lo hacen, y si hay desaceleración, el efecto ahorrador de emisiones es muy marcado, como se aprecia en el gráfico 8. En lo que respecta a la variación del índice de la producción de kilogramos del CO₂

por dólar de producción, este indicador se ha mantenido estable durante el periodo de análisis, con un promedio de variación de alrededor del -2%.

Gráfico 8. Tasa de variación de los índices de GDP, kilotoneladas de CO₂ y kilogramos por dólar de GDP de Estados Unidos.

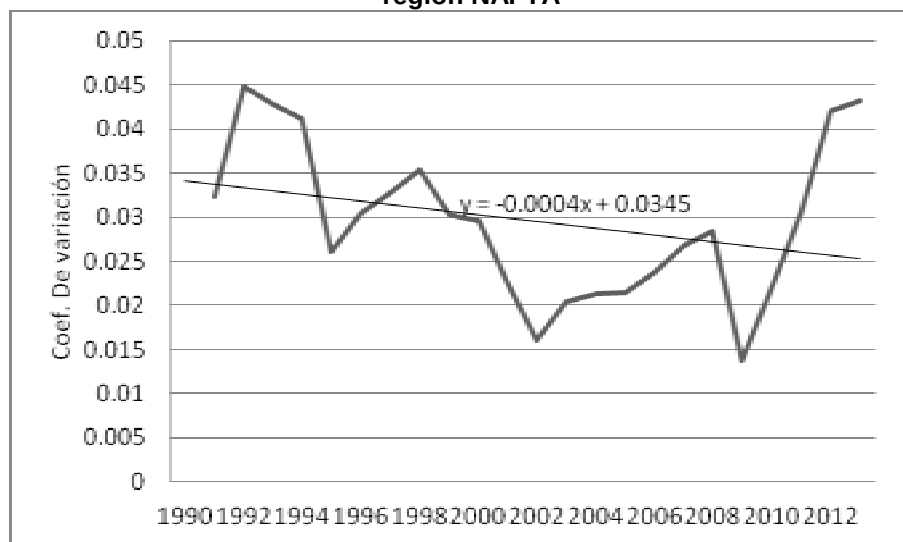


Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

Así mismo, para identificar la evolución de la brecha de desigualdad entre las variables de los tres países de la región, se obtuvo el coeficiente de variación⁴. En el gráfico 9 se puede observar la evolución de este indicador del GDP de la región NAFTA. Se aprecia una tendencia decreciente hasta el año 2009, lo que indica que existe una reducción de la brecha de desigualdad en el índice de producción de los tres países de la región de norte América, lo que se traduce en una convergencia en esta variable, lo que equivale a decir que se han venido reduciendo las disparidades o la heterogeneidad en esta.

⁴ Los datos que dan origen a los gráficos de la evolución del coeficiente de variación se pueden observar en el Anexo A-2.

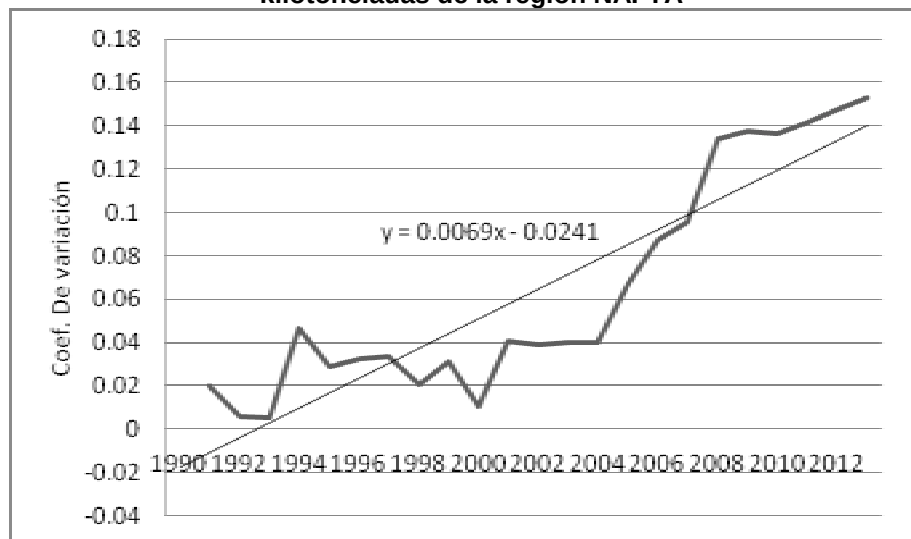
Gráfico 9. Coeficiente de variación del GDP del índice de GDP de la región NAFTA



Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

El análisis del coeficiente de variación del índice de las emisiones de kilotoneladas de CO₂ en la región de norte América se aprecia en el grafico 10. En este se identifica que la brecha de desigualdad en las emisiones se ha incrementado a lo largo del periodo de análisis. Ello refleja la disparidad existente entre los países en lo que respecta a la emisión de dióxido de carbono que realiza cada uno de ellos. Este comportamiento expresa una divergencia.

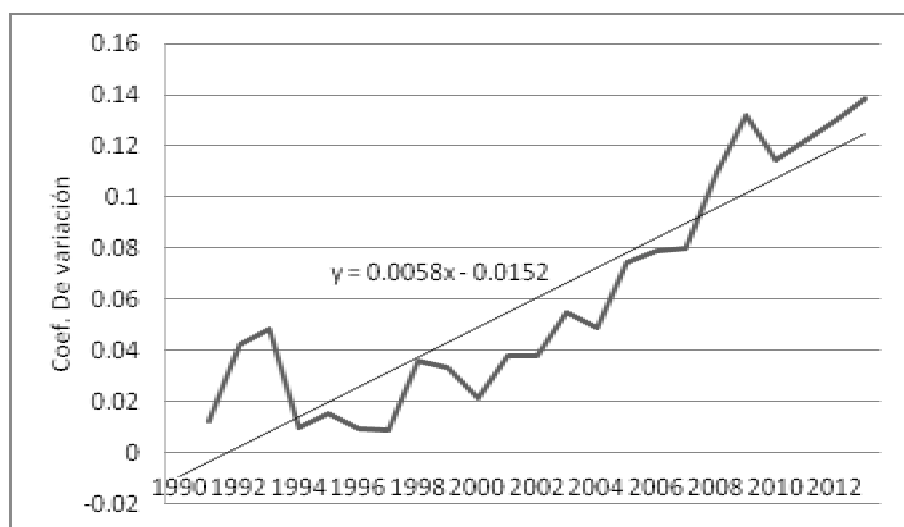
Gráfico 10. Coeficiente de variación del índice de emisiones de CO₂ en kilotoneladas de la región NAFTA



Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

El coeficiente de variación del índice de emisiones de CO₂ por dólar de producción en la región de norte América muestra una tendencia creciente a lo largo del periodo de análisis, lo que se traduce en una ampliación de la brecha de desigualdad en cuanto a lo que emite cada país de dióxido de carbono. Este comportamiento muestra la existencia de divergencia entre los tres países de esta región.

Gráfico 12. Coeficiente de variación del índice de emisiones de CO₂ por dólar de producción de la región NAFTA



Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

4.1 Estimación

El modelo econométrico primario para analizar un *panel data* consiste en omitir las dimensiones del espacio y el tiempo en los datos agrupados y calcular únicamente la regresión OLS usual.

Este modelo se expresa como:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 X_{1it} + e_{it} \quad (7)$$

Donde i representa la i -ésima unidad de análisis o unidad de *cross section* y t es una variable de tiempo.

La ecuación (7) supone que el intercepto de la regresión es el mismo para todas las unidades de análisis. Sin embargo, es muy probable que sea necesario controlar el carácter “individual”

de cada *cross section*, por lo que el modelo de efectos aleatorios permite suponer que cada una tiene un intercepto diferente. Para los países de la muestra, esto recogería la heterogeneidad entre ellos. Este modelo puede expresarse como:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 X_{1it} + e_{it} \quad (8)$$

Donde $\alpha_i = \alpha + u_i$. Es decir, en vez de considerar a α como fija, se supone que es una variable aleatoria con un valor medio α y una desviación aleatoria u_i de este valor medio.

Sustituyendo $\alpha_i = \alpha + u_i$ en (8) se obtiene:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 X_{1it} + u_i + e_{it} \quad (9)$$

Al analizar la ecuación (9), se observa que si la varianza de u_i es igual a cero, es decir, $\sigma_u^2 = 0$, entonces no existe ninguna diferencia relevante entre (7) y (9).

Otra manera de modelar el carácter “individual” de cada *cross section* es a través del modelo de efectos fijos. Este modelo no supone que las diferencias entre unidades de análisis, en este caso los países, sean aleatorias, sino constantes —y por ello se debe estimar cada intercepto— Para ello se hace uso de variables dicotómicas de intersección diferenciada, que se expresa de la siguiente manera:

$$Y_{it} = v_i + \beta_1 X_{1it} + e_{it} \quad (10)$$

Donde v_i es un vector de variables dicotómicas para cada *cross section*. Este modelo estima una variable *dummy* para cada unidad de análisis. La elección entre el modelo 7) y 10) lleva a considerar que el 7) es un modelo restringido, dado que asume un intercepto común para todas las unidades de análisis (es decir, no incluye variables dicotómicas para cada *cross section*).

Así, dado que se cuenta con un *panel data*, se procedió a realizar los contrastes necesarios para elegir entre los modelos (7) a (10). Tras realizar los contrastes *pooled OLS versus fixed effects*, y *random effects versus fixed effects*, se identificó que el más adecuado es el de *fixed effects*.

En lo que se refiere a los resultados de la estimación del modelo econométrico propuesto, se observa que, una vez realizados los contrastes correspondientes para verificar el cumplimiento de los supuestos subyacentes, se identificó la presencia de autocorrelación serial y contemporánea, así como heteroscedasticidad, por lo que se estimó a través del método de Errores Estándar Corregidos para Panel (*Panel Corrected Standard Errors*, PCSE por sus siglas en inglés). La estimación reporta el signo esperado para el estimador del parámetro del GDP.

Como se puede observar en la tabla 1, las variables de control reportan los signos que predice la teoría, en tanto que el valor del parámetro relevante es negativo, lo que indica que, con el crecimiento de la producción, se reducen las emisiones de dióxido de carbono.

Tabla 1. Función de producción de CO₂

Variable dependiente: índice de emisiones de CO₂ en kilogramos por dólar de producción. Método de estimación: Errores Estándar Corregidos para Panel.

	Coef.	Std. Err.	z	P> z
Índice de inversión	0.09***	0.024	3.98	0.000
Índice de empleo	0.33***	0.044	7.69	0.000
Índice de producción	-0.71***	0.046	-15.30	0.000
constante	1.27***	0.035	36.18	0.000

Fuente: Elaboración de los autores con datos de INEGI.

*** significativo al 0.01%.

Los resultados permiten inferir que en la región de América del Norte, el crecimiento de la actividad económica tiene efectos reductores de las emisiones de dióxido de carbono.

Por cada unidad que cambia el índice de GDP, se reduce el índice de emisiones en 0.71.

5. CONCLUSIONES

La investigación ha permitido identificar estudios que se han realizado sobre la causalidad entre las variables involucradas y aquellos relacionados con su dependencia en el largo plazo. Así mismo, en el presente documento se ha incorporado una propuesta matemática para justificar la causalidad entre ellas.

Contar con información del Banco mundial ha dado la posibilidad de construir una base de datos en panel para analizar el efecto que tiene el crecimiento económico sobre las emisiones de dióxido de carbono.

El uso de números índice ha contribuido a realizar un análisis adimensional sobre la evolución de las variables básicas consideradas en el estudio, y observar sus tasas de variación para identificar su crecimiento o decrecimiento.

La construcción de números índice ha ofrecido la alternativa de identificar que en la región de norte América el crecimiento económico tiene un efecto ahorrador de emisiones, así también de manera individual, los países presentan patrones de comportamiento relativamente homogéneos, siendo Canadá el que muestra mayor aumento de la brecha entre crecimiento económico y emisiones del principal gas de efecto invernadero, seguido por Estados Unidos; comportamiento que convierte al primero en el referente en cuanto a mejores prácticas en relación a la reducción de contaminantes, de manera particular del dióxido de carbono. Así mismo, se ha observado que la sensibilidad de las emisiones de dióxido de carbono al crecimiento de la producción en Estados Unidos es alta. La estimación de un modelo econométrico con datos en panel ha permitido identificar la relación existente entre la producción de bienes y servicios, y la producción de dióxido de carbono, encontrándose que

existe una relación inversa, lo que se traduce en que con el crecimiento económico, se da un proceso de reducción de emisiones de CO₂, es decir, se da un proceso ahorrador de emisiones. Los resultados encuentran coincidencia con los identificados por Koop y Bengochea *et:al.* en relación a que los países desarrollados presentan procesos ahorradores de CO₂ que podrían ser originados por sus avances tecnológicos.

BIBLIOGRAFÍA

Acaravci Ali, Ozturk Ilhan, 2010. On the relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in Europe. *Energy*. 35, 5412-5420.

Apergis Nicholas, Payne James E, 2010. The emissions, energy consumption, and growth nexus:Evidence from the Commonwealth of independent states. *Energy Policy*. 38, 650–655.

Bengochea-Morancho Aurelia, Higón-Tamarit Francisco, Martínez-Zarzoso Inmaculada, 2001. Economic Growth and CO₂ Emissions in the European Union. *Environmental and Resource Economics* 19, 165–172.

Bhattacharyya Ranajoy, Ghoshal Tapas, 2010. Economic growth and CO₂ emissions. *Environ Dev Sustain*. 12,159–177.

Box G. E. P., Jenkins G. M., Raisal G. C., 1994. “Time series analysis forecasting and control”. Prentice Hall, New Jersey. USA.

Box G. E. P., Jenkins, G. M., 1976. “Time series analysis forecasting and control”. Prentice Hall, New Jersey. USA.

El Hedi Aroui Mohamed, Ben Youssef Adel, M'henni Hatem, Rault Christophe, 2012. Energy consumption,economic growth and CO₂ emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy*. 45, 342–349.

Farhani Sahbi, Ben-Rejeb Jaleddine, 2012. Energy Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions: Evidence from Panel Data for MENA Region. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2-2, 71-81.

Granger, C. W. J. (1969): Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods. *Econometrica*, 37, 424-438.

Greene, W. H., 2012. *Econometric Analysis*. 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Hsiao-Tien Pao, Chung-Ming Tsai, 2010. CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy*. 38, 7850–7860.

Koop Gary, 1998. Carbon dioxide emissions and economic growth: A structural approach. Journal of Applied Statistics. 25-4, 489- 515.

Narayan Paresh Kumar, Narayan Seema, 2010. Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from developing countries. Energy Policy. 38, 661–666.

Ozturk Ilhan, Acaravci Ali, 2010. CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14, 3220–3225.

Sharif Hossain Md., 2011. Panel estimation for CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. Energy Policy. 39, 6991–6999.

Soytasa Ugur, Saria Ramazan, 2009. Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member. Ecological economics. 68, 1667-1675.

Tucker Michael, 1995. Carbon dioxide emissions and global GDP. Ecological Economics 15, 215-223.

World Bank, 2013. World Development Indicators. Washington, D.C.

Anexos

Anexo A-1: Índices de Producción, emisiones de CO2 en kilotoneladas y emisiones de CO2 por dólar de producción.

	Canadá: índice gdp	México: índice gdp	Estados Unidos: índice gdp	Canadá: índice co2kt	México: índice co2kt	Estados Unidos: índice co2kt	Canadá: Índice co2\$	México: Índice co2\$	Estados Unidos: Índice co2\$
1990	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1991	0.98	1.04	1.00	1.00	1.04	1.01	1.02	1.00	1.01
1992	0.99	1.08	1.03	1.04	1.04	1.03	1.05	0.97	1.00
1993	1.01	1.10	1.06	1.06	1.05	1.05	1.05	0.95	0.99
1994	1.06	1.15	1.10	1.01	1.11	1.07	0.95	0.96	0.97
1995	1.09	1.08	1.13	1.02	1.04	1.08	0.94	0.97	0.95
1996	1.11	1.13	1.18	1.04	1.08	1.11	0.94	0.96	0.94
1997	1.15	1.21	1.23	1.07	1.14	1.14	0.93	0.94	0.93
1998	1.20	1.27	1.28	1.15	1.19	1.14	0.96	0.93	0.89
1999	1.27	1.32	1.35	1.15	1.21	1.16	0.90	0.92	0.86
2000	1.33	1.41	1.40	1.19	1.21	1.20	0.89	0.86	0.86
2001	1.36	1.40	1.42	1.17	1.26	1.17	0.86	0.89	0.83
2002	1.40	1.42	1.44	1.15	1.24	1.19	0.83	0.88	0.82
2003	1.42	1.44	1.48	1.23	1.29	1.19	0.86	0.90	0.81
2004	1.47	1.49	1.53	1.23	1.31	1.21	0.84	0.87	0.79
2005	1.51	1.54	1.58	1.25	1.38	1.22	0.83	0.90	0.77
2006	1.55	1.62	1.62	1.22	1.41	1.20	0.79	0.87	0.74
2007	1.59	1.67	1.65	1.25	1.45	1.22	0.78	0.87	0.74
2008	1.60	1.69	1.64	1.21	1.50	1.19	0.76	0.89	0.72
2009	1.56	1.59	1.59	1.14	1.42	1.11	0.73	0.89	0.70
2010	1.61	1.68	1.63	1.11	1.41	1.14	0.69	0.84	0.70
2011	1.65	1.74	1.66	1.11	1.43	1.15	0.68	0.83	0.68
2012	1.67	1.81	1.70	1.12	1.45	1.15	0.66	0.83	0.67
2013	1.70	1.85	1.73	1.13	1.47	1.16	0.64	0.82	0.65

Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).

Anexo A-2: Coeficiente de Variación de la Producción, de las emisiones de CO2 en kilotoneladas y de las emisiones de CO2 por dólar de producción.

CV igdp	CV ico2kt	CV ico2\$
0.03	0.02	0.01
0.04	0.01	0.04
0.04	0.01	0.05
0.04	0.05	0.01
0.03	0.03	0.02
0.03	0.03	0.01
0.03	0.03	0.01
0.04	0.02	0.04
0.03	0.03	0.03
0.03	0.01	0.02
0.02	0.04	0.04
0.02	0.04	0.04
0.02	0.04	0.06
0.02	0.04	0.05
0.02	0.07	0.07
0.02	0.09	0.08
0.03	0.10	0.08
0.03	0.13	0.11
0.01	0.14	0.13
0.02	0.14	0.11
0.03	0.14	0.12
0.04	0.15	0.13
0.04	0.15	0.14

Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2013).