

RELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y EL IMPACTO AMBIENTAL CON BASE EN EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO



Astrid Georgina Carrera Monterroso

Ingeniera química. Máster en Economía y
Finanzas Cuantitativas.
Correo electrónico: astridcar@gmail.com

Resumen

Este documento presenta un análisis econométrico de la relación entre crecimiento económico y las emisiones de dióxido de carbono, debido a que son una externalidad negativa para todos los países del mundo. Se espera que dicha relación sea que a niveles de renta per cápita bajos, la degradación ambiental sea alta. Esto hasta llegar a un punto de inflexión donde las emisiones de contaminantes pueden ir disminuyendo a través de políticas ambientales y de programas en beneficio del medio ambiente, llegando a ser eficientes.

El modelo econométrico de datos de panel llegó a demostrar que sí existe el comportamiento de la curva ambiental de Kuznets, y se ve explicado por el logaritmo del PIB per cápita de cada país, al logaritmo del dióxido de carbono per cápita, para un grupo de cien países, durante el periodo del 2000 a 2010.

Palabras clave: crecimiento económico, medio ambiente, curva de Kuznets, PIB per cápita

Abstract

This paper presents an econometric analysis of the relationship between economic growth and emissions of carbon dioxide, because they are a negative externality for all countries. It is expected that this relationship is that low levels of income per capita environmental degradation is high up to reach a tipping point where the emissions of environmental pollutants may be declining through environmental policies and programs for the benefit of the environment reaching be environmentally efficient.

The econometric panel data model went on to show that if the behavior of the environmental Kuznets curve, and is explained by the logarithm of GDP per capita for each country the logarithm of per capita carbon dioxide, for a group of one hundred countries for the period 2000-2010.

Keywords: economic growth, environmental quality, environmental, Kuznets curve, GDP per capita.

Introducción

El crecimiento económico es un tema de interés mundial, de esencial estudio económico, y a partir de la década de los 90, también lo ha sido el tema ambiental. Debido a que se han registrado cambios ambientales que repercuten en las riquezas de las naciones, el interés de saber si el crecimiento económico será sostenido a largo plazo sabiendo que existe como limitante los recursos naturales no renovables y alteraciones en los ecosistemas.

En este trabajo se verificará la relación entre degradación ambiental y crecimiento económico utilizando datos de dióxido de carbono CO₂ per cápita, por el efecto que tiene en la salud humana y el medio ambiente, siendo generada la mayor parte de emisiones por la quema de combustibles fósiles y la destrucción de extensas áreas forestadas. Esto para explicar la degradación ambiental en una muestra de cien países representativos durante el periodo del año 2000 al 2010. Al verificar que existe la relación entre el crecimiento económico y las emisiones de contaminantes, se puede explicar que el crecimiento económico será sostenible en el tiempo y a la vez disminuirá los niveles de contaminación, dejando de ser una amenaza para el medio ambiente.

Las investigaciones que han surgido de este tema son diversas y existe controversia de explicaciones a favor y en contra de dicha relación, por lo que con este trabajo se pretende reunir la suficiente evidencia empírica para comprobar dicha hipótesis para países catalogados por el banco mundial como los países con mayor emisión de dióxido de carbono, para los países emergentes y verificar con países desarrollados; y así comprobar sus diferencias ante emisiones altas de contaminantes, ante valores altos de renta per cápita y ante valores bajos de renta per cápita.

1. Revisión de literatura

1.1. La curva de Kuznets medioambiental

La relación que existe entre medio ambiente y desarrollo económico se puede ver explicada mediante la Curva de Kuznet ambiental o EKC por sus siglas en inglés siendo Panayotou (1993) quien le otorgó ese nombre debido a que la asoció con el comportamiento de la curva de Kuznets, planteada por Kuznets (1955)¹ que presentaba una relación entre renta per cápita y desigualdad social. La mayor parte de investigaciones han logrado evidenciar dicho comportamiento utilizando datos sobre contaminación atmosférica y la renta (Antweiler et al., 2001; Bradford et al., 2000; Cole et al., 1997; Grossman, 1995; Holtz-Eakin y Selden, 1995; Panayotou, 1993; Selden y Song, 1994; y Shafik, 1994)².

1.2. La degradación del medio ambiente.

La degradación del medio ambiente puede verse explicada por el agotamiento de los recursos naturales no renovables y la contaminación. La contaminación a su vez se ve explicada por contaminación atmosférica, contaminación acuífera y como parte de la degradación del medio ambiente se tiene la deforestación y degradación de suelos. Y como consecuencia de la contaminación atmosférica se tiene un aumento en la temperatura del planeta, las emisiones de contaminantes atmosféricos se ven explicadas por los gases de efecto invernadero y por la generación de dióxido de carbono entre otros.

1.3. Los diferentes puntos de vista.

Ante la búsqueda de conocer los límites del crecimiento de un país, han surgido investigaciones radicales en su punto de vista al explicar que todos los países dejarán de crecer debido a las altas emisiones de contaminantes y de la escasez de los recursos naturales. Por ejemplo, el *informe Los límites del crecimiento* (Meadows et al., 1972), indica que al aumentar la actividad económica llevará per se un aumento de la degradación, ya que el incremento de la producción requerirá mayores ingresos, incluidos recursos naturales no renovables (i.e. petróleo), esto llevará en un momento del tiempo a detenerse el crecimiento. por haberse terminado todos los recursos naturales existentes y haber sobrepasado los límites de producción. Esta problemática se explica posteriormente en la segunda publicación del autor ya mencionado, *Más allá de los límites del crecimiento* donde aclara que esto puede llegar a suceder si las tendencias actuales de crecimiento en la población mundial: industrialización, contaminación, producción de alimentos y explotación

¹ Simón Kuznets (1901-1985), premio nobel de economía, explicó la distribución del ingreso en los países a través del subdesarrollo económico.

² Según Capó (2006).

de recursos se mantienen a lo largo del tiempo y nada cambia (*ceteris paribus*). Pero luego reconoce que estas tendencias pueden modificarse, y como vivimos en un mundo agitado donde somos capaces de cambiar nuestras decisiones, se pueden establecer condiciones de estabilidad económica y ecológica capaces de ser sostenidas en el futuro³.

El tema medio ambiental y su relación con el desarrollo económico en los países, se puede enfocar en que existe preocupación común de las naciones por continuar en la senda de crecimiento, pero no se ven tan preocupados en alterar el entorno si con ello siguen creciendo, siendo radicales en que solo ese sería el enfoque de las naciones, pero al existir límites preocupa aún más a los países en que su desarrollo depende directamente de la escasez de los recursos. La mayor parte de factores que se utilizan en la producción son reemplazables pero los factores naturales que se encuentran en los ecosistemas. No hay como puedan ser reemplazados en su totalidad, y como la relación es directa con la vida humana, las preocupaciones por buscar un equilibrio deben continuar.

2. Modelo econométrico

El modelo de regresión para datos de panel utilizado es el siguiente:

$$E = \beta_0 + \beta_1 * Y_{it} + \beta_2 * Y_{it}^2 + u_{it}$$

E = Emisiones ambientales (emisiones de CO₂ per cápita en toneladas métricas).

Y_{it} = Producto interno bruto per cápita para cada país i en el tiempo t .

u_{it} = Término de error. Este se descompone en:

$$u_{it} = \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$

μ_i = Efectos no observables que difieren entre países, pero no en el tiempo.

δ_t = Efectos no cuantificables que varían en el tiempo, pero no entre países.

ε_{it} = Término de error puramente aleatorio.

Las variables explicativas de las emisiones de dióxido de carbono per cápita son el logaritmo del PIB per cápita y el logaritmo del PIB per cápita al cuadrado. Esta última variable se eligió con el fin de verificar el comportamiento polinómico de orden 2 de la curva ambiental de Kuznets, por lo que se espera que el signo que acompañe al coeficiente de la variable del PIB per cápita sea positivo y el signo que acompañe al PIB per cápita al cuadrado sea negativo.

Se eligió utilizar un modelo de datos de panel debido a que el número de observaciones es mucho mayor que el número de tiempo (Nt), por lo que la estimación puede hacerse con datos de panel.

³ Meadows *et al.* (1992)

Se utilizó el logaritmo de las variables tanto para las emisiones de dióxido de carbono per cápita como para el PIB per cápita para que la explicación de las variables independientes sobre la dependiente se interprete como una elasticidad expresada en términos porcentuales, y así obtener una mejor interpretación del significado de las variables estudiadas.

Se realizó la prueba de Hausman para verificar si se debe elegir entre utilizar un modelo de datos de panel con efectos fijos o con efectos aleatorios. La hipótesis nula para la prueba de Hausman indica que el error específico de grupo no está correlacionado con alguna, es decir, el modelo de efectos aleatorio es el adecuado (Ho: Cov frente a la hipótesis alterna de qué efecto fijo es más conveniente Ha: Cov. Por lo tanto, un valor de p^4 pequeño supone rechazar el modelo de efectos aleatorios en favor del modelo de efectos fijos. Con una probabilidad del 0 % se rechaza la hipótesis nula de utilizar el modelo de efectos aleatorios, por lo que se utiliza el modelo de panel con efectos fijos.

Para corregir los problemas de heterocedasticidad o autocorrelación, se estima el modelo por mínimos cuadrados generalizados de datos de panel, ya que el modelo de estimación de mínimos cuadrados generalizados brinda estimadores insesgados y eficientes.

Se realizó la prueba de normalidad en los residuos para verificar que su comportamiento fuera el de ruido blanco con media cero, y una varianza constante e independiente de cualquier valor del tiempo. Se tomó como base al estadístico Jarque-Bera que plantea la hipótesis nula de que se aproxima a una distribución normal, contra la hipótesis alternativa de que no se aproxima a una distribución normal. Con un p de 0.0032, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se tiene que el comportamiento de los residuos no se aproxima a una distribución normal⁵.

3. Resultados

3.1. Modelo estimado de datos de panel por mínimos cuadrados y efectos fijos.

$$\begin{array}{l} \log(\widehat{CO_2}) = -1.2493 + 0.8820 * \log(PIB) - 0.1036 * (\log(PIB))^2 + u_{it} \\ ee^7 = \quad (0.1296) \quad (0.0702) \quad (0.0094) \\ t^8 = \quad (-9.6421) \quad (12.5511) \quad (-10.9341) \\ p^9 = \quad (0.0000) \quad (0.0000) \quad (0.0000) \end{array}$$

$$\begin{array}{l} R^2 = 0.9930 \\ R^2_{ajustado} = 0.9923 \end{array}$$

4 p: (p-value) probabilidad de ocurrencia.

5 Se deja a discreción del lector darle un tratamiento econométrico adecuado para que el comportamiento de los residuos se distribuyan normalmente, ya que este artículo no efectuará ningún tratamiento a los residuos.

3.2. Modelo estimado de datos de panel por mínimos cuadrados generalizados y efectos fijos (cross- section weights):

$$\begin{array}{l} \log(\widehat{CO_2}) = -1.3303 + 0.9249 * \log(PIB) - 0.1091 * (\log(PIB))^2 + u_{it} \\ ee = (0.0791) \quad (0.0418) \quad (0.0054) \\ t = (-16.8232) \quad (22.0865) \quad (-19.8919) \\ p = (0.0000) \quad (0.0000) \quad (0.0000) \end{array}$$

$$\begin{array}{l} R^2 = 0.9968 \\ R^2_{ajustado} = 0.9965 \end{array}$$

3.3. Punto de inflexión de la curva estimada por mínimos cuadrados generalizados para los datos de panel

Al derivar el modelo estimado con respecto al logaritmo del PIB per cápita se tiene:

$$\frac{\partial \log(\widehat{CO_2})}{\partial \log(PIB)} = 0.9249 - 0.2182 * (\log(PIB))$$

El máximo de la función se obtiene cuando $\frac{\partial \log(\widehat{CO_2})}{\partial \log(PIB)} = 0$, luego despejando, se tiene:

$$\log(PIB) = \frac{0.9249}{0.2182} = 4.2388$$

Aplicando antilogaritmo para encontrar el valor del PIB per cápita en el que se da el punto de inflexión, se tiene:

$$PIB = 10^{4.2388} = 17330.06$$

El valor del PIB per cápita en dólares, a precios actuales en donde se encuentra el punto de inflexión para este modelo estimado es aproximadamente de US\$17 330.

3.4. Explicación de resultados.

Los coeficientes obtenidos del logaritmo del PIB per cápita y el logaritmo del PIB per cápita elevado al cuadrado, son significativos debido a que todos tienen una probabilidad del 0 % de rechazar la hipótesis nula de que el coeficiente de las variables explicativas son igual a 0. Por ello los coeficientes obtenidos sí explican el modelo.

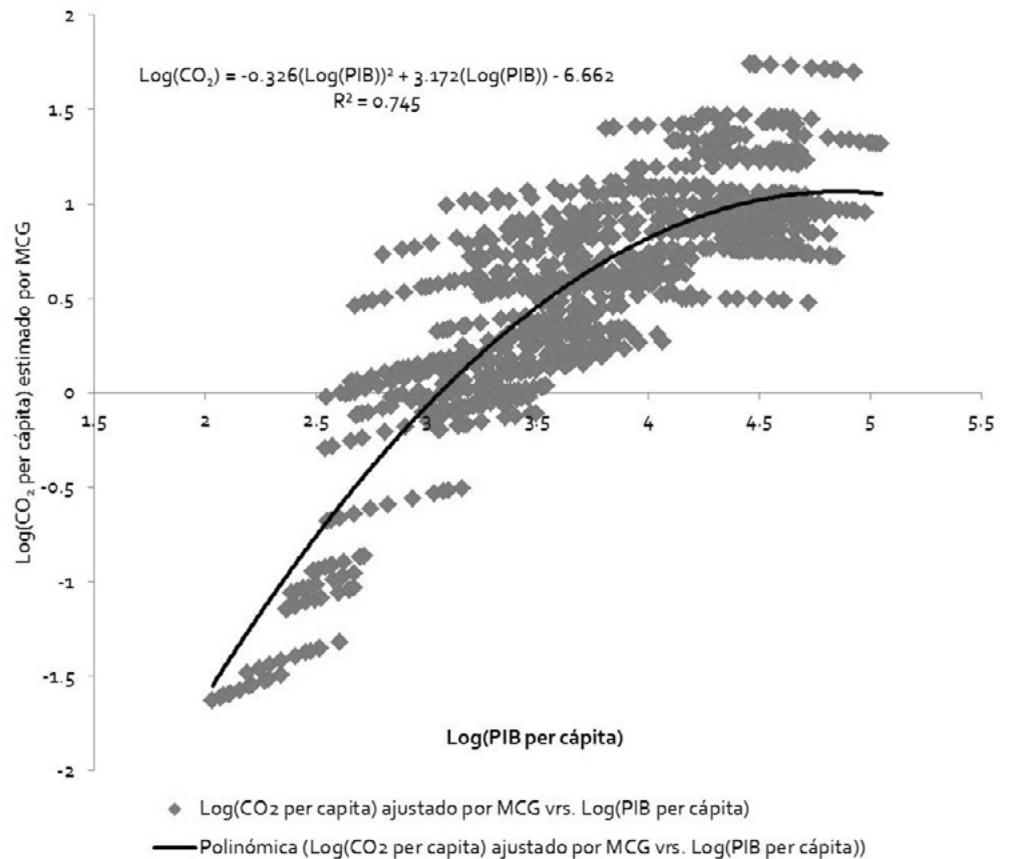
Ante un cambio porcentual del 1 % en el PIB per cápita este explicará 1.75 % de las emisiones de dióxido de carbono per cápita para una base de US\$10 000 de PIB per cápita. Este cambio porcentual varía dependiendo del valor del PIB per cápita al que se quiera ver el cambio.

El R^2 es de 0.9930, por lo que el ajuste de la muestra al modelo estimado es elevado, siendo este un modelo adecuado para pronóstico de variables.

Para los dos modelos mostrados anteriormente se cumple con lo esperado con base en el comportamiento de la curva ambiental de Kuznets en el que el signo que acompaña a la variable independiente en el término al cuadrado es negativo, y el signo que acompaña a la variable independiente es positivo, por lo que se tiene una u-invertida.

El siguiente gráfico muestra el comportamiento de la curva de Kuznets, donde la variable independiente es el logaritmo del PIB per cápita de cada país y la variable dependiente es el logaritmo de las emisiones de CO_2 per cápita del modelo ajustado por Mínimos Cuadrados Generalizados. Para fines ilustrativos se utilizó el programa de Excel para verificar dicha relación, comprobando así la existencia de la curva ambiental de Kuznets para las emisiones de dióxido de carbono. Hay que notar que el modelo de ajuste presentado por Excel difiere del estimado por el modelo econométrico presentado en esta investigación, pues el modelo es más robusto.

Log(CO_2 per cápita) ajustado por MCG vs. Log(PIB per cápita) Elaboración propia con datos del modelo estimado y datos del Banco Mundial



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Sí existe la relación entre el crecimiento económico y el impacto ambiental, según el modelo estimado para la muestra de cien países, para las emisiones de dióxido de carbono per cápita. Lo que indica que el crecimiento económico representado por el PIB per cápita sí explica las emisiones de dióxido de carbono per cápita en los países analizados.

Los residuos no tienen una distribución normal debido a que se han omitido variables que pueden ayudar al estudio de la contaminación atmosférica, pero no hay datos existentes sobre cómo estas variables influyen en las emisiones de dióxido de carbono, por lo que solo se pueden explicar mediante los residuos.

El punto de inflexión de la curva medioambiental para la muestra de cien países analizados se encuentra en US\$17 330 PIB per cápita a precios actuales.

Ante un cambio porcentual del 1 % en el PIB per cápita este explicará 1.75 % de las emisiones de dióxido de carbono per cápita para una base de US\$10 000 de PIB per cápita. Este cambio porcentual varía dependiendo del valor del PIB per cápita al que se quiera ver el cambio.

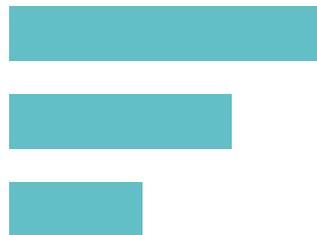
Recomendaciones

Las mejoras ambientales deben surgir por los países que generan más emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera para que se dé un crecimiento sostenible a lo largo del tiempo, pues de lo contrario, el comportamiento de la curva ambiental de Kuznets dejará de existir.

Las políticas ambientales deben enfocarse en dar un equilibrio a esta externalidad negativa que involucra a todos los países a nivel mundial. Como una recomendación de esta investigación, es estudiar la relación existente entre los países con ingresos per cápita bajos, pero que poseen la mayor parte de área forestada en el mundo, contra los países que tienen ingresos per cápita altos, pero con mayores tasas de contaminantes atmosféricos. Parte de la reducción de los contaminantes atmosféricos debe ser el apoyo económico y nuevas tecnologías para que los países que tienen áreas forestadas sigan protegiendo sus reservas, y así contrarrestar las emisiones de contaminantes atmosféricos que, en mayor proporción, los países desarrollados emiten.

Las investigaciones en el tema de contaminación ambiental y su relación con el crecimiento económico en Guatemala son pocas y carecen de un respaldo econométrico que dimensione el problema, para luego ser controlado, siendo entonces deficientes en comprobación numérico-analítica. Por lo que se recomienda profundizar en temas ambientales para la conservación de la riqueza ambiental en el país.

En Guatemala se cuenta actualmente con un compendio de Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica de Guatemala 2001-2010⁶, donde se desglosa las emisiones de contaminantes en el país, por lo que este estudio puede ser de ayuda para futuras investigaciones de Guatemala y el impacto ambiental.



⁶ Estudio realizado entre la Universidad Rafael Landívar, el Instituto de Estadística Nacional y el Banco de Guatemala (2013).

Referencias

- Alayón, Y. B., y Cabrera, J. S. (2013). *Los determinantes de las emisiones de CO₂, NOx y SO₂: un estudio empírico para América y el Caribe*. Temas de Economía Mundial Consejo de Redacción, 92. Centro de Investigaciones de la Economía Mundial. La Habana, Cuba.
- Antweiler, W., Copeland, B. y Taylor, S. (2001). *Is Trade Good for the Environment?* *American Economic Review*, 91, pp. 877-908.
- Bradford, D., Schlieckert, R. y Shore, S. (2000). *The Environmental Kuznets Curve: Exploring a Fresh specification* _BER Working Paper, 6739.
- Cole, M. A., Rayner, A. J. y Bates, J. M. (1997). The Environment Kuznet Curve: an Empirical Análisis. *Environment and Development Economics*, 2, 401-416.
- Gómez-López, C. S., Barrón Arreola, K. S., y Moreno Moreno, L. (2011). Crecimiento económico y medio ambiente en México, 78(311), 547. *EL TRIMESTRE ECONÓMICO*, vol. LXXVIII (3), núm. 311, 547-582. México.
- Grossman, G. M. (1995). Pollution and growth: what do we know? En I. Goldin y L. A. Winters (Eds.). *The economics of sustainable development*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Grossman, G. M. y Krueger, A. B. (1991). *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement* _BER Working Paper.
- Grossman, G. M. y Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment *Quaterly. Journal of Economics*, vol. 112, 353-378.
- Holtz-Eakin, D. y Selden, T. M. (1995). Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth. *Journal of Public Economics*, vol. 57, 85-101.
- INE, Banguat y IARNA-URL (Instituto Nacional de Estadística, Banco de Guatemala e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2013). *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica de Guatemala 2001-2010: compendio estadístico. SCAE 2001-2010. Tomo I. Guatemala: Autor.*
- Kuznets, S. (1955), *Economic Growth and Income Inequality. American Economic Review*, 45, 1-28.
- Meadows, D. H.; Meadows, D. L.; Randers, J. y Behrens III, W. (1972). *The Limits to Growth*, New York. Universe Books.
- Meadows, D. H., Randers, J., y Meadows, D. L. (1993). *Más allá de los límites del crecimiento*. España: Círculo de lectores.

- Oviedo, G. C. (2011). *Desarrollo económico y generación de dióxido de carbono, un análisis econométrico*. Diss. 2012. Cali, Colombia: Biblioteca digital Universidad del Valle.
- Panayotou, T. (1993). Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at different Stages of Economic Development. Working Paper WP238. Technology and Employment Programme, International Labor Office. Geneva.
- Panayotou, T. (2003). Economic Growth and the Environment. Paper prepared for and presented at the Spring Seminar of the United Nations Economic Commission for Europe: Geneva.
- Rocha, L. A., Khan, A. S., y Lima, P. V. P. (2013). Nivel tecnológico e emissão de poluentes: uma análise empírica a partir da curva de kuznets ambiental. *Economía Aplicada. Revista Scielo*, 17(1), 21-47, Brazil.
- Selden, T. M. y Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is there a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 147-162.
- Shafik, N. (1994). Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis *Oxford Economic Papers*, 46, 757-773.
- Shafik, N. y Bandyopadhyay, S. (1992). Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence Background Paper for World Development Report 1992, World Bank, Washington, D.C.
- Suárez Moncayo, G. A. (2011). *Crecimiento económico versus degradación ambiental: ¿existe una Curva de Kuznets Ambiental en América Latina y el Caribe? Período 1970-2008*. Región Andina y América Latina. Ecuador: Flacso Andes.