

Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable

Environmental Kuznets Curve: Implications for Sustainable Growth

Horacio Catalán*

Resumen

Este artículo tiene por objetivo realizar una estimación de la curva ambiental de Kutnez para un conjunto de 144 países en el periodo de 1990-2010, mediante la especificación de un modelo de datos panel. Los principales resultados muestran que, la relación entre las emisiones per cápita de CO₂ y el PIB per cápita describen una curva en forma de N, indicando que los beneficios que se puedan lograr, en cuanto a la disminución de emisiones de CO₂, debido a un mayor crecimiento económico son transitorias. Variables como la eficiencia energética y la protección de los recursos naturales, como parte de la política ambiental, juegan un papel relevante en reducir los impactos del crecimiento económico en el deterioro ambiental.

Palabras clave:

- Emisiones CO₂
- Crecimiento económico
- Datos de panel

Abstract

The objective this article is examine the empirical relation between CO₂ emissions per capita and GDP per capita during the period 1990-2010, using a panel of 144 countries. Under the hypothesis the Environmental Kutnez Curve (EKC). The main results show that the relationship between per capita CO₂ emissions and per capita GDP describe an N-shaped curve, which means that any beneficial effects economic growth may have on per-capita pollution is transitory. Variables such as energy efficiency and protection of natural resources, play an important role in reducing the impact of economic growth on environmental degradation.

Keywords:

- CO₂ Emissions
- Growth
- Panel Data

JEL: C13, Q30, O13

Introducción

La comprobación empírica de la relación entre crecimiento económico y el deterioro del medio ambiente, ha sido un tema de intenso debate, y la mayoría de las investigaciones se han realizado en el marco de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets (EKC por las siglas en inglés). La cual establece que la relación entre el nivel de ingreso per cápita y el deterioro de la calidad del medio ambiente se representa por una curva con forma de U invertida (Grossman y Krueger, 1993 y 1995; Stern, 1998), indicando que bajos niveles de ingreso están correlacionados con un creciente deterioro en el medio ambiente, pero después de un cierto punto de inflexión del ingreso per cápita, la relación entre las dos variables se vuelve negativa. Así, un mayor nivel de ingreso per cápita corresponde a una disminución en la degradación ambiental (Grossman y Krueger, 1995). En este sentido, la EKC se acota a una comprobación empírica entre indicadores de degradación ambiental e ingreso per cápita.

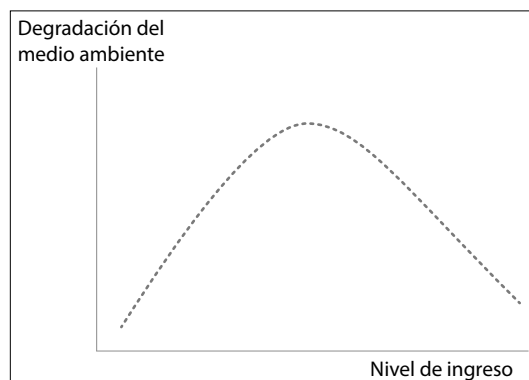
* Profesor de la Facultad de Economía de la UNAM, Ciudad Universitaria, México, D. F. C.P. 04510 Cub. 20, Email: catalanh@unam.mx catalanh@economia.unam.mx

la presente introducción. En la segunda sección, se expone la hipótesis teórica que sustenta la EKC, en la tercera parte se presenta los resultados de la evidencia empírica y finalmente las conclusiones.

Marco general de la Curva de Kuznets

La relación entre el crecimiento económico y el medio ambiente es uno de los temas más intensamente debatidos en la economía ambiental (Beckerman, 1992; Grossman y Krueger, 1995; Kaufmann et al., 1998; Selden y Song, 1994; Bruyn, *et al.*, 1998; Stern y Common, 2001; Nahman y Antrobus, 2005; Galeotti, *et al.*, 2006; Lessmann, 2014). La curva ambiental de Kuznets¹ (EKC) se ha convertido en una de las principales hipótesis para explicar esta relación (Nahman y Antrobus, 2005). La EKC propone que existe una relación, en forma de U invertida, entre la degradación del medio ambiente y el ingreso *per cápita* como se muestra en la Figura 1 (Stern y Common, 1996; Dianda, 2005).

Figura 1
Curva ambiental de Kuznets



La EKC establece una relación dinámica entre el ingreso per cápita y la calidad del medio ambiente. La calidad del medio ambiente sufre un deterioro en las fases iniciales del proceso de crecimiento, debido a que se intensifica la agricultura y la explotación de los recursos naturales, las tecnologías eficientes y

¹ Esta curva debe su nombre al trabajo de Kuznets (1955) que postula una relación en forma de U-invertida entre el ingreso per cápita y la desigualdad en la distribución del ingreso. Desde principios de los noventa inicia un renovado interés por aplicar esta hipótesis a la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental, basada en el estudio pionero de Grossman y Krueger (1991).

regulaciones ambientales o las demandas de la sociedad (Grossman y Krueger, 1995; Bruyn, 1997). En este sentido, esta forma reducida no permite identificar inicialmente los efectos de la política económica. No obstante, es posible definir una forma paramétrica de la hipótesis de la EKc (Ekins, 1997; Grossman y Krueger, 1995; Selden y Song, 1994; Suri y Chapman, 1998) definida como:

$$(1) E_{it} = \beta_0 + \beta_1 YP_{it} + \beta_2 YP_{it}^2 + \beta_3 YP_{it}^3 + \sum_{j=1}^k \gamma_j X_{j,it} + u_{it}$$

$$i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T$$

Donde E_{it} representa el deterioro ambiental, YP_{it} es el producto *per cápita*, $X_{j,it}$ es un conjunto de variables que inciden en el deterioro ambiental, tales como: densidad de población (Kaufmann, *et al*, 1998), grado de apertura comercial, la estructura productiva⁴ (Moonmaw y Unruh, 1997; Panayotou, 1997), emisiones por kilómetro cuadrado (Bruyn, 1997) o incluso variables rezagadas⁵ (Panayotou, 1997; Grossman y Krueger, 1995). Estas variables tienen por objeto capturar el efecto escala, efecto composición y efecto de la tecnología (Grossman, 1995; He y Wang, 2012). El análisis de la descomposición de la EKc en este tipo de efecto se desarrolló por Grossman y Krueger (1995). El deterioro ambiental es un subproducto de la actividad económica, en consecuencia se puede descomponer en un efecto escala, que se refiere al crecimiento de la economía; un efecto composición que es un cambio en la estructura de la economía y un efecto tecnología, que aumentan la eficiencia en el uso de la energía y generan menores niveles de contaminantes (Stern, 2003). La variable u_{it} representa el término de error. Los subíndices it indican observaciones para distintos individuos (países) y periodos de tiempo, es decir observaciones de datos de Panel.

La ecuación (1) es una forma funcional que permite definir a las siguientes tipos de relaciones entre calidad ambiental e ingreso *per cápita* (Ekins, 1997; Selden y Song, 1994; Bruyn, Bergh y Opschoor, 1998):

1. Si la EKc cumple con la restricción $\beta_1 > 0$ y $\beta_2 = \beta_3 = 0$, entonces la relación es lineal y directa de modo que el crecimiento económico se traduce en un mayor deterioro del medio ambiente (es monótona creciente).
2. Se cumple la restricción $\beta_1 < 0$ y $\beta_2 = \beta_3 = 0$, implica que la relación es lineal e inversa de modo que el crecimiento se traduce en una disminución del deterioro ambiental (es monótona decreciente).

⁴ Medido por ejemplo como la razón de industria a producto y teniendo mayor peso en los países en vías de desarrollo (Bruyn, 1997).

⁵ Las estimaciones de Panayotou (1997) indican que las variables rezagadas no son estadísticamente significativas.

La estimación de la ecuación (1) se puede realizar por mínimos cuadrados ordinarios (POLS). Sin embargo, al considerar un modelo con datos panel que combina información en el tiempo y en sección cruzada (países), existe heterogeneidad en las observaciones de sección cruzada que no puede ser medida o efectos individuales no observables (Greene, 2000; Hsiao, 2003). Esto genera que los estimadores de POLS sean sesgados e inconsistentes. La forma de incluir los efectos no observables es definiendo un modelo de componente de error, donde el error comprende la suma de dos componentes: un término aleatorio y un segundo componente que representa la heterogeneidad no observada. El concepto de heterogeneidad, se puede entender como características propias en las unidades de sección cruzada (países) que no pueden ser medidas y en consecuencia no se pueden estimar. La especificación convencional de los modelos de datos panel con heterogeneidad se representa como:

$$(2) \quad y_{it} = x_{it}'\beta + c_i + \varepsilon_{it} \quad i = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, T$$

en donde x_{it} es un vector de k variables explicativas, β es el vector de parámetros del modelo, c_i es la heterogeneidad no observable en las unidades de sección cruzada y ε_{it} es el término aleatorio que tiene media cero y varianza constante (Greene, 2000). Se asume que la heterogeneidad no observada permanece constante en el tiempo y solo cambia a través de las unidades de sección cruzada (Hsiao, 2003; Baltagi, 2005). La teoría econométrica (Hsiao, 2003; Baltagi, 2005; Greene, 2000) establece dos especificaciones básicas para el modelo de datos panel con heterogeneidad no observable, denominados como efectos fijos y efectos aleatorios.

$$(3) \quad y_{it} = x_{it}'\beta + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad \text{Efectos Fijos}$$

$$(4) \quad y_{it} = x_{it}'\beta + \nu_i + \varepsilon_{it} \quad \text{Efectos Aleatorios}$$

La especificación de efectos fijos asume que la heterogeneidad no observable está correlacionado con las variables explicativas $E[x_{it}'\alpha_i] \neq 0$, en consecuencia la estimación de la ecuación (3) puede realizarse por medio de incluir una constante para cada país o individuo.⁶ En el caso de efectos aleatorios se asume que la heterogeneidad no está correlacionada con las variables explicativas

⁶ Este procedimiento se conoce como mínimos cuadrados ordinarios con variables dummy (LSDV). También se puede realizar la estimación eliminando el término α_i ya sea estimado el modelo en primeras diferencias o bien transformando las variables calculado sus desviaciones respecto a su promedio en el tiempo.

Evidencia empírica

La información utilizada en el presente artículo son observaciones de datos panel para el periodo de 1990 a 2010, considerando un conjunto de 144 países, la fuente de información es el Banco Mundial,⁸ como la variable de deterioro ambiental se considera el nivel de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) per cápita (CO_{2it}), medido en toneladas métricas por persona. La variable de ingreso es aproximado por el PIB per cápita medido en dólares de Estados Unidos a precios de 2005 (yp_{it}). Las variables adicionales en la estimación de la EKC corresponden: la participación porcentual del sector servicios en el PIB (serv_{it}); el porcentaje de consumo de energía de origen fósil respecto al total de consumo de energía (ffe_{it}) y la variable de eficiencia energética (efe_{it}), la cual se define como el recíproco de la intensidad energética;⁹ y el porcentaje de áreas protegidas respecto al total del territorio (aprot_{it}).

El Cuadro 1, presenta un resumen de los principales estadísticos de las variables utilizadas en la estimación de la EKC, se aprecia que existe una gran dispersión entre las unidades de sección cruzada (países), principalmente en los niveles de ingreso per cápita. Además, el peso en las economías del sector servicios va de 54.73% a niveles de 92.83%, indicando que existe actualmente una mayor relevancia de los servicios en la actividad económica a nivel global. En el periodo considerado, se ha registrado una alta demanda de combustibles de origen fósil en la generación de energía, con elevados porcentajes de participación en el consumo de energía entre 68 y 100 por ciento, por otra parte se registra en promedio una baja eficiencia en el uso de la energía, así como un bajo porcentaje de territorio declarados como áreas protegidas, lo cual es un indicador de la importancia que asignan los gobiernos en promover fuentes de energía alternativas y en la protección de los recursos naturales.

⁸ La información estadística se obtuvo del sistema de Indicadores del Desarrollo Mundial del Banco Mundial, en <http://databank.bancomundial.org>

⁹ En términos macroeconómicos, la forma habitual de medir la eficiencia energética es a través de la intensidad energética (IE). Este indicador refleja la relación entre consumo energético y el volumen de la actividad económica y se calcula como el cociente entre el consumo energético y el PIB. Por tanto, es el inverso de la eficiencia energética, siendo necesario disminuir la intensidad para mejorar la eficiencia energética.

superiores a este nivel, las emisiones de CO₂ en algunos casos permanecen constantes entre 5 y 10 toneladas por persona, para otros países las emisiones se elevan a valores superiores a 10 toneladas por habitante. Niveles de PIB per cápita superiores a 20 mil dólares al año, no corresponden con una disminución de las emisiones de CO₂, lo cual sería evidencia empírica en contra de una forma de U-invertida de la EKC, y en favor de un patrón no lineal en forma de N (Figura 2). Es decir, las economías en desarrollo mantienen una fuerte asociación entre crecimiento económico y emisiones, mostrando una trayectoria creciente. Por su parte, los países más desarrollados con mayores niveles de ingreso no muestran una reducción en las emisiones per cápita, de hecho estas tienden a mantenerse constantes.

Si bien la Gráfica 1, aporta elementos de discusión de la hipótesis de la EKC, no permite medir los impactos del crecimiento económico (aproximado por el PIB per cápita) y otras variables de control, por lo cual la comprobación empírica se realiza por medio de estimar una ecuación con datos panel. En primera instancia se realizó una estimación considerando únicamente las emisiones de CO₂ y el PIB per cápita en nivel, al cuadrado y al cubo, es decir una versión simple de la hipótesis EKC, los resultados se presentan en el Cuadro 2. La estimación se realizó por mínimos cuadrados ordinarios (POLS), efectos fijos (FE) utilizando transformación *within*, efectos aleatorios por FGLS (RE), estimación Between (BE) y en primeras diferencias (FD). En las cinco especificaciones, los signos de los coeficientes del PIB per cápita cumplen con la restricción 4) es decir: $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ y $\beta_3 > 0$, indicando que la relación emisiones de CO₂ y PIB per cápita se puede aproximar por una muestra una curva en forma de N. Esto implica que, en un rango de bajos niveles de ingreso per cápita la relación creciente cambia a decreciente en un punto de inflexión, pero después de cierto nivel de ingreso, la relación entre ambas variables es positiva y posteriormente se mantiene constante.

La curva en forma de N indicaría que los beneficios que se puedan lograr, en cuanto a la disminución de emisiones de CO₂, debido a un mayor crecimiento económico y un aumento en la eficiencia tecnológica son transitorias. Las opciones de reducción de emisiones se agotan o bien sus costos tienden a incrementarse, y en consecuencia no se logran reducciones significativas en la degradación ambiental. Por otra parte, el grado de ajuste de los modelos medidos por el estadístico R-cuadrado es bastante bajo, además del ingreso per cápita existen otros factores que determinan la evolución de las emisiones por habitante. En este sentido, se especificó una ecuación de la EKC en una versión

observaciones de sección cruzada. Al incluir las variables de control el grado de ajuste mejora de acuerdo a los valores del R-cuadrado, así que una versión ampliada de la EKC tiene una mejor capacidad de explicación y permite validar con mayor robustez la curva en forma de N.

La participación porcentual del sector servicios en el PIB (sev_{it}) registra un signo negativo en todas las especificaciones, esto es compatible con el efecto en la composición del producto (Grossman y Kruger, 1995), en favor de sectores como el de servicios que utilizan tecnologías más limpias, un uso más eficiente de la energía o fuentes alternativas de energía (Stern, 2003), que se traducen en menores emisiones de CO_2 . En contraste el consumo de energía de origen fósil (ffe_{it}) reporta un signo positivo, lo cual es consistente considerando que un mayor consumo de combustibles de origen fósil como el petróleo genera un mayor deterioro ambiental. Es importante señalar que la quema de combustibles de origen fósil es la principal fuente de emisiones de CO_2 , asociados a la demanda de energía de la industria y el transporte, principalmente. Además factores como el precio del petróleo y las políticas energéticas en favor de combustibles de origen fósil inducen un mayor consumo y en consecuencia mayores emisiones.

La variable de eficiencia energética resulto negativa y estadísticamente significativa, pero además la magnitud del coeficiente muestra una relevancia importante en la trayectoria de las emisiones de CO_2 . En efecto, la eficiencia energética es una de las principales variables que inducen una reducción en el consumo de energía de origen fósil y permiten desacoplar la trayectoria de la actividad económica y el producto. En un estudio realizado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2008) muestra que sin las mejoras realizadas en materia de eficiencia energética durante el periodo de 1973 a 2005 a nivel global, el uso de energía habría sido 58% mayor al nivel registrado en 2005, es decir la eficiencia energética genera reducciones importantes en la demanda de energía. Sin embargo, desde 1990, la tasa de eficiencia energética se estancó debido al menor interés económico debido al precio relativamente bajo de los combustibles induciendo un aumento en la demanda del petróleo.

y en términos de los signos y magnitudes de los estimadores. La prueba estadística de Hausman (Baltagi, 2005) puede ser utilizada para determinar la mejor especificación entre efectos fijos y aleatorios. Esta prueba compara los estimadores de efectos fijos y efectos aleatorios, y si existe una diferencia que sea estadísticamente significativa entre ambos, indica que los estimadores de efectos aleatorios son inconsistentes en consecuencia la mejor especificación para el modelo de datos panel corresponde a la de efectos fijos (Hsiao, 2003, Baltagi, 2005, Greene, 2000).

Se asume como hipótesis nula que las variables explicativas no están correlacionadas con la heterogeneidad no observada $H_0 : E(x_{it}' \alpha_i) = 0$ y la alternativa $H_1 : E(x_{it}' \alpha_i) \neq 0$. Rechazar la hipótesis nula es un argumento a favor de la especificación de efectos fijos (Hsiao, 2003). El estadístico de la prueba se define con base en la diferencia de los estimadores de efectos fijos y aleatorios $\hat{q} = \hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE}$, y la diferencia en el valor de las varianzas de los estimadores $Var(\hat{q}) = Var(\hat{\beta}_{FE}) - Var(\hat{\beta}_{RE})$. Finalmente el estadístico de Hausman se define como: $m = \hat{q}' [Var(\hat{q})]^{-1} \hat{q}$, el cual se distribuye como una ji-cuadrada con k grados de libertad $\chi^2(k)$, que es el número de parámetros. El Cuadro 4, presenta los resultados de la prueba de Hausman para la estimación de la EKC simple y la EKC con variables de control, en ambos casos se rechaza la hipótesis nula, indicando correlación entre las variables del modelo y los efectos individuales, por lo tanto la mejor especificación en datos panel es la de efectos fijos.

Cuadro 4
Resultados de la Prueba de Hausman

Modelo	Estadístico
EKC-Simple	$\chi^2(3)=15.9863(0.001)$
EKC-extendida	$\chi^2(7)=61.6002(0.000)$

Nota: entre paréntesis probabilidad de rechazo de la hipótesis nula.

Conclusiones

La evidencia empírica presentada en este trabajo muestra que al considerar una muestra de 144 países en el periodo de 1990 a 2010, mediante un modelo de datos panel, la relación entre las emisiones per cápita de CO₂ y el PIB per cápita se ajusta a una curva ambiental de Kuznets en forma de N, en la cual los países con bajo ingreso per cápita tienden a elevar las emisiones per cápita y con ello el deterioro ambiental, debido a que la explotación de los recursos

impactos. Por ejemplo, se estima que la maquinaria y equipo dura en general aproximadamente 25 años lo que, desde luego, retrasa la obtención de impactos favorables al medio ambiente (Anderson y Cavendish, 2001).

De este modo, el problema ambiental no se reduce a la evolución del crecimiento económico (Arrow, *et al*, 1995) sino que debe considerarse el papel de los mercados, la innovación tecnológica y las regulaciones ambientales. Finalmente, debe considerarse que las regulaciones ambientales tienden a ser más estrictas en un contexto donde aquellos que son afectados por la degradación ambiental tienen mecanismos claros de defensa y compensación (Torras y Boyce, 1998). Por tanto, no es exclusivamente en los períodos de crecimiento económico en donde las regulaciones ambientales son efectivas sino que debe considerarse la capacidad institucional de los gobiernos para lograr reducciones significativas en el deterioro ambiental.

Bibliografía

- Andreoni J. y A. Levinson (2001), “The simple analytics of the environmental Kuznets curve”, *Journal of Public Economics*, 80(2), pp. 269–286
- Arrow, K., B. Bolin, R. Costanza, P. Dasgupta, C. Folke, C.S. Holling, B.-O. Jansson, S. Levin, K.-G. Maler, C. Perrings y D. Pimentel (1995), “Economic growth, carrying capacity and the environment”, *Ecological Economics*, 15(2), pp. 91–95.
- Baltagi B. H. (2005), *Econometrics*, 3ª edición, Alemania, Springer-Verlag
- Beckerman W. (1992), “Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?”, *World Development*, 20(4), pp. 481–496
- Bruyn de, S.M. (1997), “Explaining the environmental Kuznets curve: structural change and international agreements in reducing sulphur emissions”, *Environment and Development Economics*, 2, pp. 485–503.
- Bruyn de, S.M., J.C.J.M. Bergh y J.B. Opschoor (1998), “Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curve”, *Ecological Economics*, 25, pp. 161–175.
- Choumert J., Combes-Motel P., y Dakpo H. K., (2013), Is the Environmental Kuznets Curve for deforestation a threatened theory? A meta-analysis of the literature, *Ecological Economics*, 90, pp. 19–28
- Dinda S., (2004), “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey”, *Ecological Economics*, 49(4), pp. 431–455
- Dinda S. (2005), “A theoretical basis for the environmental Kuznets curve”, *Ecological Economics*, 53, pp. 403–413

- Moomaw, W.R. y G. Unruh (1997), “Are environmental Kuznets curves misleading us? The case of CO2 emissions”, *Environment and Development Economics*, 2, pp. 451-463.
- Nahman A. y G. Antrobus (2005), “The environmental Kuznets curve: a literature survey”, *South African Journal of Economics*, 73(1), pp. 105-120.
- Panayotou, T. (1997), “Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool”, *Environment and Development Economics*, 2, pp. 465-484.
- 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 Labour Office, Geneva.
- Perman, R. J., Y. Ma, J. McGilvray y M. Common (2003), *Natural Resource and Environmental Economics* (Third edition), Addison Wesley Longman.
- Rothman, D.S. y S. M. de Bruyn (1998), “Probing into the environmental Kuznets curve hypothesis”, *Ecological Economics*, 25, pp. 143-145.
- Rothman, D. S. (1998), “Environmental Kuznets curves: real progress or passing the buck?: a case for consumption-based approaches”, *Ecological Economics*, 25, pp. 177-194.
- Selden, T.M., Song, D. (1994). “Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, pp. 147-162.
- Stern, D.I. (2003), “The Environmental Kuznets Curve”, *International Society for Ecological Economics*, Working Papers.
- Stern, D.I. y Common, M.S. (2001), “Is there an environmental Kuznets curve for sulphur?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 41, pp. 162-178.
- Stern, D. I. (1998). “Progress on the environmental Kuznets curve?”, *Environment and Development Economics*, 3(2), pp. 173-196.
- Stern, D. y M. Common (1996), “Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development”, *World Development*, 24(7), 1151-1160.
- Suri, V. y D. Chapman (1998), “Economic growth, trade, and energy: implications for the environmental Kuznets curve”, *Ecological Economics*, 25, 195-208.
- Tilton, J.E. (1990), “World metal demand: trends and prospects”, en *Resources for the Future*, Washington, D. C, pp. 25-30
- Torras, M. y J.K. Boyce (1998), “Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve”, *Ecological Economics*, 25, 147-160.