

CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL: EVIDENCIA PARA EUROPA

Resumen: En las últimas décadas, la relación entre el crecimiento económico y la calidad ambiental ha generado una fuerte controversia. El principal debate se ha centrado en responder a una pregunta directa: ¿el avance del desarrollo económico perjudica seriamente al medioambiente? Desde la década de los noventa, algunos estudios señalan que algunos contaminantes se relacionan con la renta per cápita de los países siguiendo un patrón en forma de U-invertida que se conoce como ‘Curva de Kuznets Ambiental’ (CKA). Inicialmente, la degradación medioambiental aumenta con el desarrollo económico pero, a partir de un determinado nivel de renta, un mayor nivel de renta per cápita supondría una mejoría de la calidad ambiental.

El trabajo plantea un modelo simple que relaciona la renta per cápita con las emisiones de contaminantes atmosféricos para un grupo de países europeos para el periodo 1992-2003. Los resultados obtenidos muestran evidencia favorable a la CKA. El trabajo se estructura en cuatro apartados. Después de una introducción, en la sección 2 se realiza un breve repaso a la literatura existente. En el punto 3 se expone la metodología seguida en la aplicación empírica, se describen los datos utilizados y se recogen los resultados obtenidos. Por último, en el epígrafe 4 se concluye resaltando los resultados más destacados.

Código JEL: Q53, Q56

Palabras clave: Crecimiento, contaminación, Kuznets

Abstract: During the last decades, the relationship between economic growth and environmental quality has generated a strong controversy among environmental academicians. The main debate is focused on responding a specific and direct question: will the economic development intensify seriously the environmental damage? In the last two decades, some studies suggest that some pollutants follow an inverse-U-shaped pattern relative to countries income. This relationship has been called the ‘Environmental Kuznets Curve’ (EKC). The EKC can be easily described in the following way. Initially, income growth leads to an increase of the environmental degradation but, beyond some threshold level, additional increments of income will allow an environmental improvement.

This paper lays out a simple model of the air pollution-income relationship for a panel of 23 European countries over the period 1992-2003. The results show a strong evidence of an EKC. The remainder of this article is organized as follows. After an introduction, the next section provides a brief overview of previous studies. Section 3 presents the EKC estimation with the econometric method used in the study. Also, the data are analysed and the obtained results are presented. Finally, in section 4, we present the summary and conclusions of this study.

Key words: Growth: Environment, Kuznets Curve

Javier Capó Parrilla
Centre de Recerca Econòmica (CRE)
Departament d’Economia Aplicada
Universitat de les Illes Balears
Campus de la UIB, Crta. de Valldemossa, km 7,5 Palma 07122 (Balears)
e-mail: javier.capo@uib.es
Tf. 971 172905
Fax: 971 172389

1. INTRODUCCION

La relación entre economía y medio ambiente es uno de los campos de investigación más prolíficos en el ámbito académico ambiental desde los inicios de la década de los setenta. Más precisamente, la conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente desarrollada en Estocolmo en 1972 constituye el punto de referencia en la toma de conciencia internacional sobre la existencia de un problema ambiental ligado al desarrollo económico. Este acontecimiento, el primero desde un punto de vista cronológico, resalta el derecho humano al medio ambiente a la vez que destaca la necesidad de incluir el objetivo ambiental en las políticas económicas. Posteriormente, se han ido sucediendo un conjunto de informes, conferencias y estudios que han vinculado los problemas ambientales con el desarrollo económico y han propuesto medidas para compatibilizar crecimiento y protección ambiental. Entre ellos, cabe resaltar el conocido informe ‘Los límites del crecimiento’ (Meadows, *et. al.*, 1972), en el que se analizan los enormes impactos ambientales derivados del desarrollo económico. El informe plantea que el crecimiento económico ejerce un efecto escala sobre el medioambiente. Así, un aumento del volumen de actividad económica conduce per se a un aumento de la degradación ya que el incremento de la producción requiera mayor cantidad de inputs, incluidos recursos naturales no renovables (i.e. petróleo). Además, una mayor producción conlleva un incremento de las emisiones y de los residuos que también contribuyen a la degradación ambiental. De esta forma, el propio desarrollo acaba representando un peligro para la propia supervivencia del esquema de producción y consumo existente, a consecuencia de la superación de la capacidad de asimilación del medio y de la degradación ambiental que ello supone. En este contexto, el informe llega a recomendar un crecimiento ‘cero’ para evitar mayores daños y el colapso del sistema.

Más allá de la radicalidad de las propuestas, el ‘Informe Meadows’ representa uno de los extremos en el análisis de las relaciones que mantienen crecimiento y medio ambiente, constituyendo su vertiente más ‘pesimista’. Así, existe una visión contrapuesta, llamémosla ‘optimista’, que afirma la existencia de una relación positiva entre crecimiento económico y calidad ambiental, de forma que el desarrollo económico puede ser la ‘cura’ de la propia enfermedad que está generando (Pearson, 1994). Este nuevo argumento en la relación entre desarrollo económico y medio ambiente, que permite conciliar la preocupación por la sostenibilidad con la búsqueda del crecimiento,

se inicia a principios de la década de los noventa, y es conocido en la literatura como la ‘Curva Ambiental de Kuznets’ (CKA). La hipótesis es que, la degradación medioambiental aumenta en las primeras fases del desarrollo económico pero disminuye en las etapas posteriores perfilando así un patrón similar a la relación en forma de campana establecida por Kuznets (1955) entre desigualdad y renta per cápita.¹

Si la CKA describe adecuadamente el patrón de deterioro medioambiental a lo largo del transcurso del desarrollo económico, el crecimiento económico sería beneficioso y no perjudicial para el medioambiente. Un corolario, excesivamente ‘optimista’ o ingenuo, llevaría a defender que la mejor vía para lograr un mejor medioambiente es que la mayoría de los países se hagan ricos (Beckerman, 1992). No obstante, la cuestión no es tan simple. La aceptación de la CKA como hecho estilizado requiere evidencia empírica y una explicación convincente del comportamiento observado.

De este modo, el trabajo se estructura en cuatro apartados, incluyendo esta introducción. En la sección 2 se revisa la literatura empírica sobre la CKA y se comentan las distintas explicaciones teóricas sobre las que se sustenta. En el epígrafe 3 se recoge el trabajo empírico realizado por lo que se expone la metodología seguida, se describen los datos utilizados y se recogen los resultados obtenidos de la aplicación a un grupo de países europeos. Por último, en el epígrafe 4 se concluye resaltando las limitaciones del trabajo, sus posibles ampliaciones futuras y algunos comentarios sobre las implicaciones de política económica.

2. LITERATURA SOBRE LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL

Grossman y Krueger (1991) son los primeros en evidenciar una relación en forma de U invertida entre contaminantes y desarrollo económico.² Desde entonces, numerosos estudios han alimentado la literatura empírica sobre este tema [para un resumen véase Stern et al. (1996), Ekins (1997), Ansuategi et al. (1997); Stern (1997); y Panayotou, 2003].³

¹ El nombre de Curva de Kuznets Ambiental aparece por primera vez en Panayotou (1993).

² No obstante, Malenbaum (1978) ya había establecido una relación en forma de U invertida entre la intensidad en el consumo de algunos metales y la renta.

³ Las revistas *Ecological Economics*, en 1996, y *Environment and Development Economics*, en 1997, publicaron números especiales sobre la estimación empírica de la CKA.

La evidencia más sólida a favor de la CKA se ha obtenido al analizar el patrón descrito por la relación entre la polución 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). No obstante, otros estudios contradicen estos resultados (Carson et al., 1997; Grossman y Krueger, 1993 y 1995, Torras y Boyce, 1998; y Vincent, 1997). En el caso de indicadores de la calidad del agua, la evidencia empírica es más débil. Así, algunos contaminantes se comportan de acuerdo con la hipótesis de la CKA mientras que otros siguen un patrón en forma de N, de modo que, al aumentar la renta, la contaminación del agua primero aumenta, luego decrece y finalmente vuelve a aumentar (Grossman y Krueger, 1994; Grossman, 1995; Shafik y Bandyopadhyay, 1992; y Shafik, 1994). Para otros indicadores ambientales, la cantidad de estudios es muy limitada y la evidencia ambigua. Así, algunos estudios (Panayotou, 1993; Antle y Heidbrink, 1995) encuentran un patrón en forma de U invertida en la relación entre deforestación y renta mientras que otros (Shafik y Bandyopadhyay, 1992; y Shafik, 1994) obtienen un perfil plano. Por su parte, Bimonte (2001) obtiene resultados acordes con la CKA al analizar la protección del territorio.

Estos resultados se han obtenido a partir de un modelo simple con el que se calcula el efecto total de la renta per cápita sobre las emisiones contaminantes pero que no aclara cuáles son las causas que explican dicha relación (Grossman y Krueger, 1995). Implícitamente, el modelo recoge una relación estructural donde la renta per cápita afecta a diversos factores cuyos cambios son los que repercuten en la calidad ambiental (de Bruyn y Heintz, 1999). De esta forma, la renta per cápita únicamente se relaciona de forma indirecta con la presión ambiental.

Por ello, tanto desde un enfoque teórico como desde otras aproximaciones empíricas, se han hecho esfuerzos por tratar de comprender y explicar los factores que están detrás de la CKA.

La elasticidad-renta de la demanda ambiental es uno de los argumentos más invocados en la literatura para justificar la CKA. Así, al alcanzarse un nivel de renta límite, se produciría un cambio en las preferencias de los consumidores de forma que, al aumentar la renta, los individuos estarían dispuestos a gastar una mayor proporción de recursos en

calidad ambiental, como si se tratase de un bien de lujo (Baldwin, 1995; Jaeger, 1998; Pezzy, 1989; y Selden y Song, 1994). Este comportamiento se reflejaría, por una parte, en una creciente preferencia por patrones de consumo más sostenibles o ‘verdes’ y, por otra, en el apoyo a posiciones políticas y sociales más proclives a dedicar más presupuesto a limpiar el medioambiente y a adoptar regulaciones más severas. Sin embargo, Flores y Carson (1995) y Kristrom y Riera (1996) obtienen que la elasticidad-*renta* de las mejoras ambientales es en muchos países inferior a la unidad. En la misma línea, McConnell (1997) llega a la conclusión de que el supuesto de que el medioambiente es un bien de lujo no es una condición ni necesaria ni suficiente para obtener la CKA.

Otra explicación es que la CKA podría estar reflejando la progresión natural del desarrollo económico, desde una economía agraria ‘limpia’ a una economía industrial ‘contaminante’ y, finalmente, el paso a una economía de servicios que es, de nuevo, ‘limpia’ (Arrow et al., 1995 y Baldwin, 1995). No obstante, para que esta premisa fuese cierta globalmente, el cambio en la composición de la producción debería ser el resultado de un paralelo cambio en la composición del consumo. En caso contrario, la reducción de la presión ambiental observada en los países ricos sería el resultado de la sustitución de la producción doméstica de manufacturas por la importación desde países menos desarrollados, de tal manera que, en términos globales, la actividad industrial no habría se habría reducido y, por tanto, el impacto ambiental no disminuiría salvo que las ‘nuevas’ economías especializadas en la producción de manufacturas fuesen más eficientes en términos medioambientales (Rothman, 1998 y Suri y Chapman, 1998).

Por su parte, el progreso tecnológico es una de las principales causas del crecimiento económico pero, a su vez, es un efecto de éste ya que el enriquecimiento de un país le permite dedicar un mayor presupuesto a investigación y desarrollo. De esta manera, el desarrollo económico se asocia a la sustitución de tecnologías obsoletas y ‘sucias’ por otras más eficientes en el consumo de recursos naturales y menos contaminantes que contribuyen a mejorar la calidad ambiental (Stokey, 1998). Además, esta dinámica se refuerza por el comportamiento de las empresas que, hoy día, tienen en cuenta las consecuencias ambientales de sus procesos de producción y del diseño de sus productos (Steger, 1996).

Los cambios institucionales, que se producen en paralelo al desarrollo económico, también han sido utilizados en la literatura para explicar el patrón descrito por la CKA (Jones y Manuelli, 1995). La primera etapa se caracteriza por políticas distorsionadoras, como los subsidios al consumo de energía, y por fallos de mercado, como una incorrecta definición de los derechos de propiedad de los recursos naturales o la falta de pago por las externalidades ambientales (Panayotou, 1993 y de Bruyn y Heintz, 1999). La segunda fase se asocia con la eliminación de las distorsiones y la corrección de los fallos de mercado. Las siguientes etapas conllevan la implementación de políticas ambientales estrictas y una mayor conciencia ambiental. Unruh y Moomaw (1998) destacan la importancia del mercado como institución que puede prevenir la degradación medioambiental. El argumento es que, la escasez de recursos naturales debería reflejarse en precios crecientes que contribuirían a reducir su demanda y, al mismo tiempo, acelerar el desplazamiento hacia tecnologías menos intensivas en esos recursos (Torras y Boyce, 1998).

Todas estas explicaciones no son ni independientes ni excluyentes entre sí y todas presentan limitaciones. Ahora bien, la mayoría de los estudios comparten que el crecimiento económico no resuelve por sí solo el problema de la degradación medioambiental. Por este motivo, se alejan de la idea de *laissez faire* y destacan la importancia de las políticas ambientales en la conciliación entre crecimiento económico y medioambiente (Ekins, 1997).

3. ANÁLISIS EMPÍRICO

La forma más habitual de contrastar la posible relación entre la presión ambiental y la renta ha sido regresando un modelo reducido que comúnmente adopta la siguiente forma:

$$E_{it} = \theta_{Ei} + \varpi_0 Y_{it} + \varpi_1 Y_{i,t}^2 + \mu_{it} \quad (i=1, 2, \dots, M; t=1, 2, \dots, T) \quad [1]$$

Así, hay M observaciones correspondientes a cada uno de los países i y el subíndice t indica el año, θ_{Ei} son los efectos fijos o heterogeneidad no observada; y μ es el término de error. Además, se aplican las siguientes definiciones: E son las emisiones de

contaminantes, Y es el logaritmo de la renta per cápita y Y^2 es el logaritmo de la renta per cápita al cuadrado.

La elección de la forma funcional es problemática. Así, una función cuadrática cóncava implica que la degradación ambiental podría tender a cero, o incluso volverse negativa, para un nivel lo suficientemente alto de renta (Cole et al., 1997). Además, la función cuadrática es simétrica, es decir, que la porción creciente de la curva tiene la misma pendiente que la parte decreciente. Ello implica que, cuando la renta sobrepase el nivel de inflexión, la degradación medioambiental decaerá a la misma tasa a la que ha aumentado previamente. Esto es poco probable ya que se observa que muchas formas de presión medioambiental pueden ser extremadamente difíciles de revertir.

La virtud de este modelo simple es que toda la influencia de la renta per cápita sobre la presión ambiental se recoge en la estimación. La principal desventaja, ya comentada, es que no queda claro por qué la relación estimada existe y, especialmente, qué tipo de interpretación se debe dar a los coeficientes estimados (de Bruyn y Heintz, 1999).

3.1 Metodología

Partiendo de la ecuación [1], el efecto del nivel de renta sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos se ha estimado mediante un modelo autorregresivo y con retardos distribuidos, que recoge la dinámica de la relación. La expresión adopta la siguiente forma:

$$E_{it} = \alpha_{Ei} + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{i,t}^2 + \delta_0 E_{i,t-1} + \delta_1 Y_{i,t-1} + \delta_2 Y_{i,t}^2 + \varepsilon_{it} \quad [2]$$

(i=1, 2, ..., M; t=1, 2, ..., T)

Donde α_{Ei} son los efectos fijos o heterogeneidad no observada y ε es el término de error.

La renta, como la mayoría de variables macroeconómicas, es casi siempre no estacionaria. La estacionariedad de las variables para la estimación de un modelo de regresión lineal es una condición básica para garantizar la consistencia de los estimadores mínimos cuadrados (MCO) y, en consecuencia, la validez de los contrastes estadísticos habituales. Así, para determinar el orden de integración de las

variables se ha utilizado el test de Im, Pesaran y Shin (2003) y el test tipo Fisher usando Dickey-Fuller Aumentado (ADF), propuesto por Maddala y Wu (1999) y Choi (2001), que permiten incrementar la eficiencia en el contraste mediante el aprovechamiento de la información de corte transversal. Los resultados de su aplicación [véase el cuadro 1] revelan que no se puede rechazar la hipótesis nula de que las variables contienen una raíz unitaria (no son estacionarias).⁴

No obstante, si las variables están cointegradas tienden a moverse conjuntamente y a mantener un equilibrio a largo plazo. De esta forma, se produce una relación estacionaria entre variables que no lo son. La cointegración entre variables implica, según el teorema de representación de Granger, que el sistema admite una representación en forma de Mecanismo de Corrección de Error y viceversa (Engle y Granger, 1987).

Por este motivo, en lugar de estimar la ecuación [2], se ha utilizado su transformación paramétrica:

$$\Delta E_{it} = \alpha_{Ei} + \beta_1 \Delta Y_{it} + \beta_2 \Delta Y_{it}^2 + (\delta_0 - 1) \left[E_{i,t-1} + \frac{\delta_1 + \beta_1}{\delta_0 - 1} Y_{i,t-1} + \frac{\delta_2 + \beta_2}{\delta_0 - 1} Y_{i,t-1}^2 \right] + \varepsilon_{it} \quad [3]$$

De esta forma, se establece un modelo con mecanismo de corrección de error, en el que todas las variables se expresan en diferencias y hay un término que recoge el ajuste de las desviaciones de la variable dependiente respecto a su valor de equilibrio de largo plazo. La existencia, dada la cointegración, de una representación de mecanismo de corrección de error no está sujeta a los problemas de regresión espuria, ya que todas las variables que entran en la ecuación son estacionarias.

La prueba de la cointegración entre las emisiones, la renta y la renta al cuadrado se puede realizar mediante el método de dos etapas de Engle y Granger. En primer lugar, hay que realizar la regresión en niveles por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y recoger los residuos de la estimación. En segundo lugar, se estima la ecuación [3], por MCO, donde el mecanismo de corrección de error incluye los residuos de la ecuación previamente estimada en lugar de los términos en niveles de las variables que entran en

⁴ Asimismo, para todas las series se ha rechazado la existencia de una segunda raíz unitaria, por lo que la primera diferencia de las variables sí es estacionaria.

ella. Si el parámetro asociado al mecanismo de corrección de error, utilizando los residuos de la ecuación de cointegración, es significativo con estadístico t se puede afirmar, de acuerdo con el teorema de representación de Granger, que las series están cointegradas.⁵

Los resultados avalan la existencia de relación de cointegración entre las emisiones de contaminantes atmosféricos, la renta per cápita y el cuadrado de ésta. De esta manera, la especificación mediante el mecanismo de corrección de error es adecuada y el procedimiento de MCO produce resultados consistentes. El procedimiento de Engle y Granger permite la incorporación clara de la estructura dinámica en la relación derivada de la teoría económica, al permitir estimar conjuntamente tanto la relación de equilibrio como el comportamiento fuera del equilibrio.

La evidencia favorable a la CKA requiere que el coeficiente β_1 sea positivo y el coeficiente β_2 sea negativo, ya que de esta forma se obtiene una relación cuadrática en forma de U invertida.

3.2 Datos

La hipótesis de la CKA no es generalizable a la relación global entre economía y medioambiente. Así, la evidencia empírica sólo apoya la relación entre la renta y algunos indicadores, particularmente aquéllos relacionados con la calidad del aire. Esta relación entre contaminación atmosférica y nivel de renta ha cobrado gran importancia por sus potenciales implicaciones en el actual debate sobre el cambio climático. Así, la selección de los contaminantes (variable dependiente) se ha basado tanto en su relevancia ambiental como en la disponibilidad de los datos, de modo que nuestro estudio se ha centrado en contrastar la existencia de una relación en forma de U invertida entre emisiones de contaminantes a la atmósfera y renta per cápita.

Los contaminantes analizados han sido: el dióxido de carbono (CO_2); los gases de efecto invernadero (GHG), medidos en CO_2 equivalente; los óxidos de nitrógeno (NO_x); el monóxido de carbono (CO); los óxidos de azufre (SO_x); y las partículas menores $10\mu\text{m}$ (PM). Todas las emisiones se han expresado en términos per cápita.

⁵ La existencia de un modelo de corrección de error supone existencia de series cointegradas.

En cuanto a las variables explicativas, se han tomado logaritmos sobre la renta per cápita a precios y tipos de cambio de 1995. Así, la serie se expresa en términos reales y valorada a tipos de cambio de mercado. A pesar de que el uso de tipos de cambio de paridad del poder adquisitivo es más adecuado (Bruyn y Heintz, 1999), ya que muestra lo que los consumidores pueden comprar domésticamente con sus rentas, esta opción ha sido desestimada al carecer de una serie temporal con datos en términos reales.

El estudio analiza la relación entre renta per cápita y diversos contaminantes atmosféricos para el caso de un grupo de 23 países europeos⁶ en el periodo 1991-2003. Toda la información procede de Eurostat, lo que permite construir un panel al disponer de una serie homogénea en el tiempo y con desagregación espacial.

3.3 Resultados

Las estimaciones econométricas realizadas [véase el cuadro 2] avalan un patrón acorde con la CKA tanto para los contaminantes con efectos globales, como el dióxido de carbono y los gases de efecto invernadero, como para algunos contaminantes con efectos de carácter más regional y/o local, como monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Este resultado es relevante ya que, la literatura habitualmente acepta que la hipótesis de la CKA únicamente se cumple en el caso de contaminantes con efectos locales y a corto plazo, donde los impactos ambientales y sobre la salud son más claros y los costes de actuación son menores, mientras que en el caso de contaminantes con efectos más globales, a más largo plazo y cuya reducción es más complicada, la presión ambiental aumentaría con la renta. Además, los resultados obtenidos sobre el comportamiento de los gases de efecto invernadero, incluyendo el dióxido de carbono, alientan la reflexión serena sobre el problema del cambio climático al observarse un descenso de las emisiones una vez superado un nivel crítico de renta per cápita.

Por el contrario, el comportamiento de las emisiones de óxidos de azufre y de partículas no es acorde con la CKA y la renta per cápita no muestra un efecto estadísticamente significativo.

⁶ Austria, Bélgica, Bulgaria, Suiza, Alemania, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Lituania, Luxemburgo, Letonia, Holanda, Noruega, Portugal, Suecia, Eslovenia y Reino Unido.

4. CONCLUSIONES

Desde los años noventa, la hipótesis de la CKA ha tenido gran relevancia en el debate sobre la relación entre desarrollo económico y medio ambiente. La hipótesis es que, la degradación medioambiental aumenta en las primeras fases del desarrollo económico pero, a partir de un determinado nivel de renta, un mayor nivel de renta per cápita supondría un descenso de la presión ambiental.

Sin embargo, la evidencia empírica recogida en la literatura no es concluyente respecto a la existencia y comportamiento de una relación entre desarrollo económico y calidad ambiental. Tampoco, existe consenso sobre cómo el crecimiento económico puede tener un efecto positivo sobre el medioambiente.

Así, a partir de un modelo reducido, comúnmente utilizado en la literatura, se ha explorado la relación entre renta per cápita y emisiones de contaminantes atmosféricos para 23 países europeos entre 1991 y 2003. Metodológicamente, la principal aportación del estudio realizado es el tratamiento de la falta de estacionariedad de las series de datos mediante la incorporación de un mecanismo de corrección del error a partir de un modelo autorregresivo y con retardos distribuidos, que recoge la dinámica de la relación.

En cuanto a los resultados, la evidencia obtenida avala una relación entre la calidad ambiental y el crecimiento económico acorde con la hipótesis de la CKA, tanto para el caso de contaminantes con efectos locales y a corto plazo, como el monóxido de carbono o los óxidos de nitrógeno, como para el caso de contaminantes con efectos más globales y a largo plazo, como el dióxido de carbono y los gases de efecto invernadero.

BIBLIOGRAFÍA

- Andreoni, J. y Levinson, A. (1998). "The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve", *NBER Working Paper*. 6739.
- Ansuategi, A.; Barbier, E. y Perrings, C. (1997). "The environmental Kuznets curve", en J.C.J.M. van den Bergh y M. Hofkes (eds.), *Theory and Implementation of Sustainable Development Modelling*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Antle, J.M. y Heidebrink, G. (1999). "Environment and Development: Theory and International Evidence", *Environmental Economics and Development*.
- Antweiler, W., Copeland, B. y Taylor, S. (2001). "Is Trade Good for the Environment?", *American Economic Review*. 91, págs. 877-908.
- Arrow, K., Bolin, B., Constanza, R., Dasgupta, P. Folke, C., Holling, C.S., Jansson, B.O., Levin, S., Maler, K. G., Perrings, C., Pimentel, D. (1995). "Economic Growth, Carrying Capacity and the Environment", *Science*. 268, págs. 520-521.
- Baldwin, R. (1995). "Does sustainability require growth?", en I. Goldin y L.A. Winters (eds.), *The economics of sustainable development*, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, págs. 19-47.
- Beckerman, W. (1992). "Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?", *World Development*, 20, págs. 481-496.
- Bimonte, S. (2001). "Model of Growth and Environmental Quality. A New Evidence of the Environmental Kuznets Curve", *Quaderni n. 321. Dipartimento di Economia Politica. Università degli Studi di Siena*.
- Bradford, D., Schlieckert, R. y Shore, S. (2000). "The Environmental Kuznets Curve: Exploring a Fresh specification", *NBER Working Paper*, 6739.
- Carson, R.T.; Leon, Y. y McCubbin, D.R. (1997). "The relationship between air pollution emissions and income: US data", *Environment and Development Economics*, vol. 2, págs. 433-450.
- Choi, I. (2001). "Unit Root Tests for Panel Data", *Journal of International Money and Banking*, 20, págs. 249-272.
- Cole, M.A.; Rayner, A.J. y Bates, J.M. (1997). "The Environment Kuznet Curve: an Empirical Análisis", *Environment and Development Economics*, vol. 2, págs. 401-416.
- Davidson, R. y MacKinnon, J. G. (1989). "Testing for Consistency using Artificial Regressions", *Econometric Theory*, 5, págs. 363-384.
- Davidson, R. y MacKinnon, J. G. (1993). *Estimation and Inference in Econometrics*, Oxford University Press.
- De Bruyn, S.M. y Heintz, R.J. (1999). "The environmental Kuznets curve hipótesis", en Van Den Bergh, J. (ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edgard Elgar, Cheltenham, Reino Unido, págs. 656-677.
- Ekins, P. (1997). "The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence", *Environment and Planning A*, vol. 29, págs. 805-830.

- Engel, R. F. y Granger, C. W. (1987). "Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing", *Econometrica*, vol. 55, págs. 251-276.
- Flores, N.E. y Carson, R.T. (1995). "The relationship between income elasticities of demand and willingness to pay", discussion paper 95-3, University of California, San Diego.
- 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, págs. 19-45.
- Grossman, G.M. y Krueger, A.B. (1991). "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", *NBER Working Paper*, 3914.
- Grossman, G.M. y Krueger, A.B. (1995). "Economic growth and the environment", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 112, págs. 353-378.
- Holtz-Eakin, D. y Selden, T. M. (1995). "Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth", *Journal of Public Economics*, vol. 57, págs. 85-101.
- Im, K.; Pesaran, H., and Y. Shin, (2003). "Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels", *Journal of Econometrics*, vol. 115, págs. 53-74.
- Jaeger, W. (1998). "A Theoretical Basis for the Environmental Inverted-U and Implications for International Trade", *Department of Economics, Williams College*. Presentado en The NBER Universities-Research Conference on "Trade, the Environment, and Natural Resources".
- John, A. y Pecchenino, R. (1994). "An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment", *The Economic Journal*. 104, págs. 1393-1410.
- Jones, L. y Manuelli, R.E. (1995). "A Positive Model of Growth and Pollution Controls", *NBER Working Paper*. 5205.
- Kuznets, S. (1955). "Economic growth and income inequality", *American Economic Review*, vol. 45, págs. 1-28.
- Maddala, G. S. y Wu, S. (1999). "A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 61, pág. 631-652.
- Malenbaum, W. (1978), *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*, New York, McGraw-Hill.
- McConnell, K. (1997). "Income and demand for environmental quality", *Environment and Development Economics*, vol. 2, págs. 383-399.
- Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J. y Behrens III, W. (1972). *The Limits to Growth*, New York, Universe Books.
- 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, March 3, 2003.
- Pearson, P. (1994). "Energy, externalities and environmental quality: will development cure the ills it creates?", *Energy Studies Review*, vol. 6 (3), págs. 199-215.

- Rothman, D.S. (1998). "Environmental Kuznets curves –real progress or passing the buck?: A case for consumption-based approaches", *Ecological Economics*, vol. 25, págs. 117-194.
- 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, págs. 147-162.
- Shafik, N. (1994). "Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis", *Oxford Economic Papers*, 46, págs. 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.
- Steger, U. (1996). "Organization and human resource management for environmental management" en P. Groenewegen, K. Fischer, E.G. Jenkins y J. Schot (eds.), *The Greening of Industry Resource Guide and Bibliography*, Washington, D.C., Island Press.
- Stern, D.I. (1997). "Progress on the environmental Kuznets curve?", *Working Paper in Ecological Economics*, 9601, CRES, Australian National University, Canberra.
- Stern, D.I.; Common, M.S. y Barbier, E.B. (1997). "Economic growth and environmental degradation: a critique of the environmental Kuznets curve", *World Development*, vol. 24, págs. 1151-1160.
- Stokey N.L. (1998). "Are There Limits to Growth?", *International Economic Review*. 39, págs. 1-31.
- Vincent, J.R. (1997). "Testing for environmental Kuznets curves within a developing country", *Environment and Development Economics*, vol. 2, págs. 417-431.
- Suri, V. y Chapman, D. (1998). «Economic Growth, Trade and Energy: Implications For the Environmental Kuznets Curve», *Ecological Economics*, vol. 25 (2), págs. 195-208.
- Torras, M. y Boyce, J.K. (1998). "Income, inequality and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve", *Ecological Economics*, vol. 25, págs. 147-160.
- Unruh, G.C. y Moomaw, W.R. (1998). "An alternative analysis of apparent EKC-type transitions", *Ecological Economics*, vol. 25, págs. 221-229.

CUADRO 1. TEST DE RAÍCES UNITARIAS

	Im, Pesaran y Shin W-estadístico	ADF – Fisher Chi-cuadrado
PIB per cápita	4,60739	11,9107
Δ PIB per cápita	-7,06438*	135,905*
PIB per cápita al cuadrado	4,86015	10,9672
Δ PIB per cápita al cuadrado	-6,97609*	134,335*
GHG	0,44312	46,1514
Δ GHG	-3,66213*	84,5271*
NOx	-0,32869	48,4236
Δ NOx	-4,66756*	100,319*
CO	0,41582	54,1780
Δ CO	-6,53674*	119,295*
CO2	-0,28103	54,9141
Δ CO2	-3,24054*	78,0096*
SOx	-0,13507	48,6038
Δ SOx	-4,14347*	95,0437*
PM	0,49826	45,9706
Δ PM	-4,58527*	101,607*

NOTA. (*) Rechaza la hipótesis nula (raíz unitaria) al 1%.

CUADRO 2. CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL [3]

Variable explicativa de interés: Δ PIB per cápita	
Δ PIB per cápita al cuadrado	
Periodo muestral: 1992 – 2003	
Método: Mínimos cuadrados ordinarios	
Número de países: 23	
Número de observaciones: 276	
Variable dependiente: Emisiones per cápita de gases de efecto invernadero	
β_1	23,55326 (7,177579)
β_2	-1,517716 (0,449486)
$(\delta_0 - 1)$	-0,204225 (0,030292)
R ² ajustado	0,225452
Significación Conjunta (F)	4,201830
Variable dependiente: Emisiones per cápita de óxidos de nitrógeno	
β_1	0,081573 (0,021069)
β_2	-0,004820 (0,001324)
$(\delta_0 - 1)$	-0,262736 (0,031936)
R ² ajustado	0,314561
Significación Conjunta (F)	6,048116
Variable dependiente: Emisiones per cápita de monóxido de carbono	
β_1	0,770425 (0,179536)
β_2	-0,047131 (0,011328)
$(\delta_0 - 1)$	-0,175469 (0,031790)
R ² ajustado	0,206051
Significación Conjunta (F)	3,854789

Variable dependiente: Emisiones per cápita de dióxido de carbono	
β_1	25,55695 (6,761642)
β_2	-1,667174 (0,424352)
$(\delta_0 - 1)$	-0,209955 (0,030431)
R ² ajustado	0,222809
Significación Conjunta (F)	4,153536
Variable dependiente: Emisiones per cápita de óxidos de azufre	
β_1	0,090732 (0,064127)
β_2	-0,005858 (0,004006)
$(\delta_0 - 1)$	-0,319880 (0,040533)
R ² ajustado	0,227093
Significación Conjunta (F)	4,231986
Variable dependiente: Emisiones per cápita de partículas menores 10 μ m	
β_1	-0,002895 (0,006099)
β_2	0,000217 (0,000377)
$(\delta_0 - 1)$	-0,167418 (0,028194)
R ² ajustado	0,224715
Significación Conjunta (F)	4,364766

NOTA: Errores estándar aparecen entre paréntesis debajo del parámetro y son consistentes con la heterocedasticidad. El contraste de significación conjunta que se presenta corresponde con el estadístico F.