



El Trimestre Económico

ISSN: 0041-3011

trimestre@fondodeculturaeconomica.com

Fondo de Cultura Económica

México

Zilio, Mariana; Caraballo, M. Ángeles

¿EL FINAL DE LA CURVA DE KUZNETSDE CARBONO? Un análisis semiparamétrico  
para la América Latina y el Caribe

El Trimestre Económico, vol. LXXXI (1), núm. 321, enero-marzo, 2014, pp. 241-270

Fondo de Cultura Económica

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31340979008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## ¿EL FINAL DE LA CURVA DE KUZNETS DE CARBONO?

Un análisis semiparamétrico para la América Latina  
y el Caribe\*

*Mariana Zilio y M. Ángeles Caraballo\*\**

### RESUMEN

La curva de Kuznets de carbono ha sido un tema ampliamente estudiado por la economía ambiental empírica y altamente controversial debido sobre todo a sus consecuencias para la elaboración política contra el cambio climático. Este trabajo está dirigido a analizar la relación entre emisiones de dióxido de carbono y producto para un conjunto de países de la América Latina y el Caribe utilizando un enfoque semiparamétrico. Los resultados confirman la inexistencia de una curva de Kuznets de carbono en la región y ofrecen pruebas en favor de un proceso de relocalización de emisiones, verificando la hipótesis del paraíso de contaminadores en los países de menores ingresos. En este contexto, “esperar y crecer” es una solución totalmente inviable para la situación ambiental en la América Latina y el Caribe. En su lugar, surge con urgencia la necesidad de crear una política climática dirigida a adaptar y mitigar los efectos del cambio climático en la región.

\* *Palabras clave:* curva de Kuznets, carbono, cambio climático, estimación semiparamétrica. *Clasificación JEL:* Q54, Q56. Artículo recibido el 13 de junio de 2012 y aceptado el 23 de enero de 2013. Los autores desean agradecer los comentarios de un dictaminador anónimo de EL TRIMESTRE ECONÓMICO que han ayudado a mejorar el trabajo. Cualquier error que pudiese persistir en el mismo es exclusiva responsabilidad de los autores. M. Zilio reconoce y aprecia el apoyo financiero proporcionado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Argentina).

\*\* M. Zilio, Universidad Nacional del Sur, Argentina. M. A. Caraballo, Universidad de Sevilla, España.

## ABSTRACT

The Carbon Kuznets Curve has been a widely explored and controversial topic in empiric environmental economics, mainly due to its straightforward implications to designing climate policy strategies. This paper is aimed to explore the relationship between carbon dioxide emissions and product for a set of Latin American and Caribbean countries using a semiparametric approach. Our results confirm that Carbon Kuznets Curve hypothesis does not holds in the region and offer some evidence in favor of a reallocation process of carbon emissions, verifying the haven pollution hypothesis on lower income countries. In this context, “wait and grow” is a totally unfeasible solution for environmental problems on Latin America and the Caribbean. Instead of this, an active climate policy is urgently needed in order to adapt and mitigate climate change effects on the region.

## INTRODUCCIÓN

La relación entre la actividad económica y la degradación ambiental ha sido ampliamente estudiada en el marco de la economía ambiental, convirtiéndose en uno de los temas más abordados por dicha disciplina en los pasados 20 años. A partir del trabajo de Grossman y Krueger (1991), que halló pruebas en favor de la existencia de una relación en forma de U invertida entre el ingreso *per capita* y ciertos contaminantes específicos, la bibliografía ha profundizado extensamente en el análisis teórico y empírico de dicha relación, conocida como curva de Kuznets ambiental (CKA). La hipótesis de la CKA plantea que el deterioro ambiental es una función creciente de la actividad económica hasta un determinado nivel crítico de renta (*turning point*), a partir del cual mayores rentas se asocian progresivamente con menor degradación ambiental. Dado que la hipótesis puede analizarse para cualquier factor que afecte negativamente las condiciones ambientales, los estudios para verificar su validez se han extendido a numerosos ámbitos de la economía ambiental.

En los años recientes, el fenómeno del cambio climático generado por el exceso de emisiones de gases de efecto invernadero,<sup>1</sup> ha motivado un mayor interés en el estudio de sus determinantes. En atención a esto, gran parte de

<sup>1</sup> Según el Panel Intergubernamental contra el cambio climático, se define cambio climático como todo cambio persistente en el estado del clima debido tanto a la variabilidad natural como a la actividad humana (IPCC, 2007).

la bibliografía de la CKA se ha centrado en la contrastación de la hipótesis entre ingreso *per capita* y dichos gases, principalmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esta tendencia dio origen a una nueva versión de la hipótesis, conocida como curva de Kuznets de carbono (CKC), cuyo tratamiento se ha vuelto decisivo en el debate de la conveniencia, o incluso la necesidad, de aplicar medidas de adaptación y mitigación contra el cambio climático.

En el caso particular de los países en desarrollo, la verificación de la CKC cobra particular relevancia por tres razones. En primer lugar, porque sus senderos de  $\text{CO}_2$  han experimentado un marcado crecimiento en los años recientes, en contraposición a la disminución observada en los países desarrollados (IEA, 2011). En segundo lugar, porque entendiendo el cambio climático como un fenómeno global (Schelling, 1992), las metas de reducción de emisiones establecidas en los países desarrollados no tienen sentido alguno si sólo generan un desplazamiento de actividades contaminantes desde esos países hacia los menos desarrollados. En tercer lugar, porque la política climática debe estar orientada primordialmente a atenuar los efectos del cambio climático en los países y sectores en condición de marcada vulnerabilidad, que son precisamente los que gozan de menores posibilidades de adaptación. En este sentido, debe destacarse que pese a la escasa participación de la América Latina y el Caribe en el total mundial de emisiones de carbono (5.1%), y a su gran heterogeneidad geográfica y topográfica, numerosos factores la convierten en una de las regiones más vulnerables ante los efectos del cambio climático (Ríos y Da Motta Veiga, 2010). Ello se debe principalmente a la prevalencia de pautas de producción y consumo intensivos en carbono —directamente relacionada con la composición de las matrices energéticas de los países de la región—, y a la escasez o ausencia de mecanismos de control de los cambios en el uso de la tierra, que permiten la deforestación de grandes extensiones para afectar las tierras para producción agrícola y pastoreo (Zilio, 2011). En este contexto, el análisis de la relación entre carbono y producto resulta relevante a la hora de orientar la política climática en áreas vulnerables ante los efectos del cambio climático. Si bien la CKC se asocia inmediatamente con políticas de mitigación, su no cumplimiento implicaría que no hay motivos para esperar que el crecimiento de las economías de la región contribuya *per se* a disminuir las emisiones de carbono. Y en dicho contexto se torna decisiva la vulnerabilidad para justificar la aplicación de una política ambiental activa para adaptarse al avance de los efectos del cambio climático. En otros términos, no verificar

la CKC implica que el crecimiento no contribuye a la mitigación, por lo que es más urgente avanzar en las políticas de adaptación debido al alto grado de vulnerabilidad que presenta la región.

En este contexto, este trabajo está dirigido a dilucidar la relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> y producto para un conjunto de países en desarrollo de la América Latina y el Caribe por medio de la aplicación de un enfoque semiparamétrico, utilizando una muestra más amplia y un periodo hasta ahora no estudiados en la bibliografía. Específicamente, la contribución de este trabajo puede resumirse en tres puntos.

En primer lugar, el enfoque semiparamétrico propuesto otorga un mayor grado de flexibilidad a la estimación, permitiendo no linealidades en la relación entre carbono y producto una vez depurada de la influencia de otros factores que determinan el sendero de emisiones. En segundo lugar, una extensa revisión de la bibliografía específica indica que la inclusión de variables adicionales como potenciales determinantes en la estimación de la relación entre emisiones y producto se ha extendido ampliamente en la contrastación de la CKC, particularmente en el caso de países en desarrollo. Sin embargo, la bibliografía empírica ha dirigido escasa atención a justificar dicha inclusión.

En este sentido, y en aras del principio de parsimonia, la incorporación de variables de control en la estimación semiparamétrica propuesta se realiza de manera rigurosa. Siguiendo los criterios establecidos en la sección II, se decide la inclusión de un conjunto de regresores empleados en la bibliografía y de un nuevo indicador que vincula el comercio internacional con los requerimientos energéticos. En tercer y último lugar, si bien la heterogeneidad ha sido abordada como uno de los problemas por resolver en el marco de la validación de la hipótesis a nivel panel, la contrastación de la CKC para la América Latina y el Caribe se ha hecho con base en el agrupamiento de economías con marcadas diferencias estructurales. En este sentido, la aportación del modelo propuesto radica en la estimación de la hipótesis para un conjunto de subpaneles conformados a partir de la aplicación de técnicas de *cluster*.

Planteado así los objetivos, el trabajo se estructura de la siguiente manera. La primera sección presenta los antecedentes relevantes a los fines del análisis propuesto. La sección II describe los datos empleados y detalla el proceso de selección de variables de control a incluir en el modelo. La sección III expone la metodología propuesta para estimar la relación entre

CO<sub>2</sub> y producto en el caso de la América Latina y el Caribe. La sección IV ofrece los resultados y por último se presenta las consideraciones finales y se concluye acerca de las consecuencias de política climática que se derivan de este estudio.

## I. ANTECEDENTES

Los argumentos teóricos que sustentan la CKA son múltiples y se relacionan mayormente con la elasticidad ingreso y otras características de la demanda de calidad ambiental (Shafik y Bandopadhyay, 1992; Selden y Song, 1994), los efectos del comercio internacional (Arrow *et al*, 1995; Stern *et al*, 1996; Dasgupta *et al*, 2001) y las transformaciones que el proceso de crecimiento económico generan en la estructura de los sistemas económicos (Grossman y Krueger, 1991)<sup>2</sup>.

Este último es probablemente el argumento más difundido para explicar la reversión de pendiente de la CKA, y puede resumirse en los efectos escala, composición y tecnología definidos por Grossman y Krueger (1991). El primero de ellos asocia positivamente crecimiento económico y daño ambiental, mientras que los dos últimos relacionan inversamente ambas variables. En cuanto al efecto escala, puede interpretarse como el deterioro en la calidad ambiental necesario para sostener el crecimiento del producto. Por su parte, el efecto composición supone que el crecimiento económico trae consigo cambios en la estructura productiva que generan mejoras en la calidad ambiental porque, una vez que el proceso de industrialización alcanza un punto máximo, el sector servicios, menos contaminante que la industria, va ganando relevancia en la estructura sectorial de la economía. Por último, el efecto tecnología supone que una nación más rica tiene mayor capacidad para invertir en innovación y desarrollo de tecnologías limpias, contrarrestando así el efecto escala generado por el incremento del producto.

Como puede apreciarse, los efectos composición y tecnología comienzan a operar cuando la economía alcanza determinado grado de desarrollo, mientras que el efecto escala se verifica aun en los ingresos más bajos. En este sentido, los países menos desarrollados se situarían, según el argumento de la CKA, en el tramo creciente de la curva, en ingresos muy inferiores a los potenciales *turning points*.

2 Véase una revisión extensa de los fundamentos teóricos de la CKA en Copeland y Taylor (2004) y Dinda (2004).

Sin embargo, no hay razones para suponer que el crecimiento del ingreso garantice *per se* la aparición de los efectos composición y tecnología necesarios para que se revierta la pendiente de la curva. Por una parte, el efecto composición puede no aparecer porque hay muchos países de ingresos medios y bajos con una alta participación del sector servicios en su producción —por ejemplo, economías basadas en la actividad turística—. En estos casos, la mayor participación del sector servicios puede no implicar una economía menos contaminante, ya que algunas actividades del sector pueden generar tanta o más presión ambiental (directa o indirecta) que las relacionadas con el sector industrial (Roca *et al*, 2001). Por otra parte, la mayoría de los países menos desarrollados importa tecnología con cierto grado de obsolescencia y, además, la inversión en tecnología e investigación y desarrollo queda relegada a un segundo plano, ya que se destina gran cantidad de recursos a la prestación de servicios sanitarios y educativos básicos o a programas de asistencia social. Todo ello implica que, en estos países, el efecto tecnología no sólo no se genere de modo automático, sino que en caso de verificarse lo haga de manera muy tardía.

Por tanto, si la relación entre crecimiento y degradación ambiental funcionara sólo mediante los efectos propuestos por Grossman y Krueger (1991), el claro y persistente predominio del efecto escala respecto a los efectos composición y tecnología haría que la verificación de la CKA fuera prácticamente inviable en economías en desarrollo. Sin embargo, se ha probado que en estas economías, hay otros factores relevantes para explicar la relación entre el producto y la degradación ambiental, como la desigualdad en la distribución del ingreso (Torras y Boyce, 1998; Bimonte, 2002), el marco institucional (Panayotou, 1997; Hettige *et al*, 2000; Jung *et al*, 2000; Bhattarai y Hammig, 2001) y el grado de apertura de las economías en combinación con la regulación ambiental (Jenkins, 2003; Cole, 2004; Kearsley y Riddell, 2010). Este último factor se asocia con la hipótesis del paraíso de contaminadores (*Haven Pollution Hypothesis* HPH), que hace referencia a la relocalización de industrias de contaminación-intensivas en los países con regulación ambiental más débil. Según la HPH, la combinación entre altos grados de apertura y normativas ambientales frágiles o incluso inexistentes, puede constituir una vía de escape a la estricta legislación ambiental vigente en los países desarrollados (Zilio, 2011).

En relación con la contrastación de la CKC, la evidencia empírica no es en absoluto concluyente. En mayor medida, la bibliografía se ha centrado

en los países desarrollados (Shafik y Bandopadhyay, 1992; Holtz-Eakin y Selden, 1992; Roca *et al*, 2001; Bengochea-Morancho *et al*, 2001; Dijkgraaf y Vollebergh, 2001; Ordaz Criado, 2008; Galeotti *et al*, 2011), o en paneles mixtos compuestos por países tanto desarrollados como en desarrollo (Galeotti *et al*, 2006; Richmond y Kaufmann, 2006; Kumar y Managi, 2010). Sin embargo, en los pasados 10 años es cada vez más frecuente la contrastación de la CKC en el contexto de países en desarrollo, en los que el estudio de la hipótesis adquiere mayor relevancia porque son los que más sufren los efectos del cambio climático y carecen de recursos e infraestructura para emplear modos de producción más sostenibles (Zilio, 2011). Aunque los resultados para estas economías son también mixtos, en términos generales rechazan la existencia de una relación en forma de U invertida entre  $\text{CO}_2$  y producto, encontrando que algunas variables adicionales, como el grado de apertura, el consumo de energía, la urbanización, la densidad poblacional y la desigualdad en la distribución del ingreso, agregan poder explicativo al modelo y resultan significativos para explicar el sendero de emisiones.

En este ámbito, por una parte, hay estudios que verifican una relación positiva entre  $\text{CO}_2$  y producto. En este grupo se incluyen, entre otros, los trabajos de Martínez Zarzoso y Bengochea-Morancho (2003) para 19 países de la América Latina y el Caribe en el periodo 1975-1998, Galeotti *et al* (2006) para un panel de 101 países no pertenecientes a la OCDE durante el periodo 1971-1997, Fodha y Zaghoud (2010) para Túnez y Nasir y Rehman (2011) y Shab haz *et al* (2012) para Pakistán. Por otra parte, hay trabajos, como los de Dinda y Coondoo (2006) para un panel mixto de 88 países durante el periodo 1960-1990 o Zilio (2011) para los países de la América Latina y el Caribe, que no encuentran relación a largo plazo entre ambas variables. Como excepción, ciertas pruebas favorables a la CKC aparecen en el trabajo de Narayan y Narayan (2009) para 15 de los 43 países en desarrollo que componen su muestra, y, a nivel de panel, para las regiones de Oriente Medio y el sur de Asia.

Esta gran variedad de resultados de la CKC, y en general de la CKA, ha generado un amplio debate econométrico, cuestionándose profundamente la solidez de las estimaciones (Dasgupta *et al*, 2002; Stern, 2004; Wagner, 2008; Galeotti *et al*, 2009). En efecto, varios autores han probado que la validación o refutación de la hipótesis depende decisivamente no sólo de la especificación econométrica propuesta, sino también de la composición de la muestra en estudio y del periodo considerado (Harbaugh *et al*, 2000;



Richmond y Kaufmann, 2006). Por otra parte, el amplio dominio de las técnicas paramétricas en la contrastación de la hipótesis ha desestimado durante mucho tiempo la posible existencia de no linealidades en la relación entre emisiones de carbono y producto. Esto ha despertado un marcado interés por la aplicación de opciones no paramétricas y semiparamétricas, que otorgan mayor flexibilidad al análisis, porque no requieren una elección *a priori* de una forma funcional determinada entre las series de CO<sub>2</sub> y producto comprendidos en la estimación. En este sentido, presentan una clara ventaja frente a las técnicas paramétricas tradicionales que asumen una relación lineal entre ambas series.

Entre los trabajos que utilizan técnicas no paramétricas destacan los de Azomahou y Van Phu (2001), Azomahou *et al* (2006), Vollebergh *et al* (2005) y Wang (2010). Mientras que los dos primeros confirman una relación inequívocamente creciente entre emisiones de carbono y producto, los dos últimos encuentran cierto respaldo a la CKC sólo en países desarrollados. En cuanto a los trabajos que emplean técnicas semiparamétricas, en la línea propuesta por este trabajo, pueden señalarse los siguientes. Por una parte, He y Richard (2010) no encuentran pruebas de la misma para la economía canadiense entre 1948 y 2004. Por otra parte, en el escenario de panel se encuentran los trabajos de Bertinelli y Strobl (2005) y Poudel *et al* (2009). El primero analiza una muestra de 108 países (81 son países menos desarrollados), para el periodo 1950-1990 y concluye que la relación entre carbono y producto es creciente en ingresos bajos y exhibe cierta estabilización en mayores. Por su parte, el trabajo de Poudel *et al* (2009) es de especial interés a los efectos de cotejar los resultados de este trabajo, porque utiliza un panel de 15 países de la América Latina para el periodo 1980-2000. Sus resultados indican una relación funcional en forma de N entre las emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de quema de combustibles fósiles y la renta *per capita*, incorporando densidad poblacional, forestación *per capita* y tasa de analfabetismo como regresores adicionales. Los autores concluyen que es más probable que los países más empobrecidos de la región, que cuentan con mayor cobertura forestal, se encuentren en la parte ascendente de la curva, mientras que las naciones con mayor ingreso de la región exhiban la mencionada pauta en forma de N.

A partir de la revisión realizada, puede señalarse que la aportación de este trabajo en relación con la bibliografía existente es doble. Por una parte, propone la estimación semiparamétrica de la CKC para una muestra de países

de América Latina y el Caribe más extensa, tanto en su dimensión temporal como en la cantidad de países considerados. Esta ampliación es significativa en ambos sentidos. En el primero, porque dado que la CKC se plantea como un fenómeno de largo plazo, la incorporación de 29 años más al análisis le otorga mayor solidez a las estimaciones. En el segundo, porque entre los países incluidos en este estudio que no han sido incorporados en la estimación de Poudel *et al* (2009) se encuentran Barbados, México y Trinidad y Tobago, que pertenecen al grupo de mayores emisores de la región.

Por último, la inclusión de variables de control se realizan de manera cuidadosa y conforme a los criterios de selección expuestos en la próxima sección, para evitar la incorporación de variables irrelevantes o no pertinentes a la estimación de la relación entre producto y emisiones de CO<sub>2</sub> para la muestra seleccionada. Asimismo, se propone el uso de un indicador que vincula el mercado energético con el comercio internacional, hasta ahora no empleado como variable de control en la bibliografía específica.

## II. DATOS Y VARIABLES

La contrastación de la hipótesis de la CKC para la América Latina y el Caribe se lleva adelante en este trabajo mediante la estimación semiparamétrica de la relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> *per capita* y producto interno bruto (PIB) *per capita* para una muestra compuesta por 21 países de la región durante el periodo 1960-2008. Por una parte, las series de CO<sub>2</sub> *per capita* (en toneladas métricas, Banco Mundial) empleadas en este trabajo incluyen únicamente las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles y manufactura de cemento. Esto puede ser una limitación si se tiene en cuenta que el 31% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la América Latina y el Caribe proviene de cambios en el uso de la tierra y silvicultura (CEPAL, 2009). Sin embargo, hasta el momento no existen estadísticas oficiales de CO<sub>2</sub> que incluyan dichas emisiones, principalmente debido a la dificultad asociada a su estimación. Por otra parte, la serie de producto empleada, es el PIB *per capita* (en dólares constantes de 2000, Banco Mundial).

En relación con las variables de control empleadas en la estimación semiparamétrica, la bibliografía se ha extendido ampliamente con el objetivo de incorporar a la CKC aspectos demográficos, distributivos, estructurales, institucionales y variables relacionadas con el comercio internacional y el mercado energético. En este artículo, se preseleccionan las potenciales va-

riables de control por incluir en la estimación teniendo en cuenta los regresores identificados por la bibliografía y proponiendo la inclusión de otros nuevos. Posteriormente, la estimación semiparamétrica nos permite dirimir en cada caso las variables que resultan significativas para explicar las sendas de emisiones de carbono. A continuación se describe las variables preseleccionadas.

Con el objetivo de captar el componente autorregresivo de las emisiones se propone la incorporación de la serie de  $\text{CO}_2$  *per capita* rezagada un periodo como primera variable de control. La inclusión de la dinámica de las emisiones de  $\text{CO}_2$  no ha sido debatida en profundidad en la bibliografía empírica de la CKC. En términos generales, los trabajos que la incluyen como regresor en la estimación aducen la necesidad de captar el componente autorregresivo de la serie de carbono en estudio (Martínez Zarzo y Bengochea Moranco, 2003; He y Richard, 2010). En este artículo, la inclusión del primer rezago de la serie de emisiones tiene una motivación adicional, derivada del hecho de que la serie empleada para analizar la validez de la CKC incluye únicamente las emisiones provenientes del uso de combustibles fósiles y manufactura de cemento. Dado su origen, estas emisiones de carbono dependen de manera directa de la composición de la matriz energética de cada uno de los países en estudio. Si bien las energías renovables han incrementado marginalmente su participación en los años recientes, es totalmente marcada la preponderancia de las energías fósiles en casi todos los países que componen la muestra, exhibiendo una pauta altamente concentrada en ese tipo de energías. Por otra parte, resulta evidente que la reconversión de las matrices hacia modos menos contaminantes es factible sólo en el largo plazo. En este contexto, la inclusión de las emisiones rezagadas un periodo pretende controlar el comportamiento inercial de las emisiones de carbono. De esta manera, resulta posible captar la relación entre el  $\text{CO}_2$  y PIB en el periodo corriente, depurando el efecto de persistencia de las emisiones derivada de la imposibilidad (técnica y económica) de transformar las matrices asociadas entre un periodo y el siguiente.

En relación con los indicadores demográficos, la estimación en términos *per capita* capta el efecto del crecimiento de la población, lo que evita así la incorporación de esta variable como regresor adicional. Por su parte, otros indicadores considerados en estimaciones semiparamétricas anteriores, como la urbanización y el grado de alfabetización (Poudel *et al*, 2009), tampoco son parte del modelo propuesto. La primera, por la escasa varia-

bilidad que presenta la serie para la muestra en estudio. La segunda, porque la proporción de las emisiones de carbono que pueden explicarse con el comportamiento individual es muy pequeña, por lo que el grado de alfabetización no es relevante para determinar la evolución de la serie analizada.

Respecto a las variables estructurales empleadas en trabajos anteriores, sólo las referidas a características propias de la estructura sectorial de cada economía cobran especial relevancia para captar el efecto composición (Friedl y Getzner, 2003; He y Richard, 2010). En particular, las variables relacionadas con dotaciones de recursos naturales, como la forestación *per capita* (Poudel *et al*, 2009), no son pertinentes en la estimación de un sendero de emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la quema de combustibles fósiles y la manufactura de cemento. En otras palabras, la significatividad de estas variables para explicar una serie de emisiones que excluye las provenientes de cambios de uso de la tierra en trabajos anteriores, no puede ser sino casual.

Dado esto, la segunda variable de control propuesta es el valor agregado del sector industrial como porcentaje del PIB (Banco Mundial), con el objetivo de captar el efecto composición esbozado por Grossman y Krueger (1991). Una mayor participación de la industria generaría mayores emisiones, por lo que el signo esperado del coeficiente asociado a esta variable es positivo.

La incorporación de variables de control relativas al marco institucional y la distribución del ingreso, como en las estimaciones paramétricas de Shafik y Bandopadhyay (1992), Torras y Boyce (1996), Jung *et al* (2000) y Bimonte (2002), podrían enriquecer la estimación semiparamétrica agregando información del marco regulatorio y la demanda de calidad ambiental en el contexto de los países en estudio. No obstante esto, la frecuencia y calidad de las series disponibles para captar estos aspectos hacen inviable su incorporación al análisis semiparamétrico propuesto.

En relación con el sector externo, las estimaciones semiparamétricas anteriores de la CKC han incluido el grado de apertura y otros indicadores como regresores adicionales (He y Richard, 2010). Sin embargo, es posible que el alto grado de correlación entre ellos haga que su incorporación simultánea les quite potencia como variables de control. Por otra parte, si lo que se busca es captar el efecto neto del comercio de bienes y servicios en las emisiones de CO<sub>2</sub>, una sola variable compuesta puede ser suficiente y contribuir asimismo al cumplimiento del principio de parsimonia. Por estos motivos, según Bertinelli y Strobl (2005), el tercer regresor adicional

propuesto en este trabajo es el grado de apertura de la economía, definido como la suma de importaciones y exportaciones de bienes y servicios como porcentaje del PIB (Banco Mundial).

Como en He y Richards (2010) el signo esperado del coeficiente de esta variable es difícil de precisar, dado que la relación entre emisiones de carbono y comercio internacional puede discurrir por varios canales. En primer término, la expansión del comercio tiende a incrementar el tamaño de la economía y, por ende, el daño ambiental por medio del efecto escala. Sin embargo, su efecto en la calidad ambiental es ambiguo, debido a que nuevamente tiene lugar un juego de fuerzas entre los tres efectos definidos por Grossman y Krueger (1991) combinados ahora con la posibilidad de exportar e importar daño ambiental incorporado en los flujos comerciales. En este sentido, el comercio internacional puede actuar como un vehículo por el cual los efectos medioambientales adversos generados por actividades contaminación-intensivas disminuyen en un país a la vez que aumentan en otro. Por estos motivos, un signo positivo en el coeficiente de la variable de apertura indicaría un efecto positivo del comercio en las emisiones de carbono, lo que respalda la HPH. Por lo contrario, un signo negativo evidenciaría un efecto positivo del comercio en la calidad ambiental.

Por último, y siendo el sector energético responsable de 77% de las emisiones de CO<sub>2</sub> mundiales (WRI, 2009), su inclusión en la estimación de la CKC no genera controversia. Si bien en términos generales, la bibliografía del CKC lo ha incorporado a las estimaciones por medio del consumo energético (Roca *et al*, 2001; Jalil y Mahmud, 2010) y los precios de la energía (Suri y Chapman, 1998; He y Richard, 2010), este artículo propone la inclusión de las importaciones netas de energía (Banco Mundial), hasta ahora no empleadas en la bibliografía como variable de control. Por una parte, esta serie tiene la ventaja de no estar linealmente correlacionada con el producto en igual grado que el consumo energético, por lo que su incorporación a la estimación puede arrojar resultados más confiables. Por la otra, al recoger el efecto que el comercio internacional tiene en las emisiones de carbono mediante la cobertura de los requerimientos energéticos, funciona como un término de interacción entre ambos sectores. Por las mismas razones alegadas en el caso de la variable de apertura, el signo esperado del coeficiente de las importaciones netas de energía es ambiguo. Sin embargo, es esperable que de ser significativa pueda ser útil para esclarecer la evidencia sobre la HPH en los países de la región.

Finalmente, la inclusión del precio del petróleo como regresor adicional también fue desestimada en esta fase del proceso de selección. La razón para esto es que, a excepción de Venezuela, todos los países de la muestra son precio aceptantes en el mercado internacional del crudo. Una vez preseleccionadas las potenciales variables de control, se realizó una inspección de los diagramas de dispersión entre la serie de carbono y cada una de ellas.

En cuanto a la muestra empleada, ésta se compone de 21 países de la América Latina y el Caribe, todos considerados en desarrollo pero a su vez marcadamente heterogéneos. En atención a esto, la estimación semiparamétrica propuesta está dirigida a determinar la relación entre emisiones de carbono y producto para seis subpaneles clasificados por el ingreso a partir de la aplicación de técnicas de *cluster*, según se detalla en el cuerpo y el cuadro 1. En una primera fase, el modelo es estimado para dos grandes paneles, uno de ingresos altos (panel A) y uno de ingresos bajos (panel B). El primero de ellos incluye a Argentina, Barbados, México, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela, mientras que el segundo está compuesto por Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú y República Dominicana.

En una segunda fase, y con el objetivo de analizar la CKC con mayor desagregación, el análisis de *cluster* avanzó en la conformación de cuatro subpaneles, C, D, E y F, que agrupan respectivamente a países de ingresos altos (Argentina y Barbados), ingresos medios altos (México, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela), ingresos medios bajos (Brasil, Costa Rica, Chile y Panamá) e ingresos bajos (Bolivia, Colombia, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú y República Dominicana).

### III. METODOLOGÍA

Con el objetivo de delinear la relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> y producto para los países de la América Latina y el Caribe, se propone la estimación de un modelo semiparamétrico que combina las características de los modelos paramétricos y no paramétricos. En general, una regresión semiparamétrica para  $N$  individuos (países en este caso) y  $T$  periodos adopta la forma:

$$Y_{i,t} = X_{i,t} \cdot \beta + g(Z_{i,t}) + \varepsilon_{i,t} \quad i = 1 \dots N \quad t = 1 \dots T \quad (1)$$

En la expresión (1) el primer sumando es la parte paramétrica, en la que  $X$  es el vector de variables de control. La función  $g$  denota el componente no paramétrico y el término de error  $\varepsilon_{i,t}$  se puede descomponer en un residuo específico  $v_i$  para cada individuo y un término residual  $u_{i,t}$ . En el presente artículo, la variable dependiente  $Y_{i,t}$  es el  $\text{CO}_2$  *per capita*,  $g$  depende del PIB *per capita* y las variables de control quedaron especificadas en el epígrafe anterior.

Para la estimación del vector de parámetros  $\beta$  y la función desconocida  $g$ , se emplea el estimador de Robinson (1988) tal y como lo aplican Li y Scott (2007), pp. 222-230, con base en los trabajos de Bertinelli y Strobl (2005) y Poudel *et al* (2009), que estiman la curva de Kuznets para un panel de países. Mediante este método, estimamos en primer lugar el vector  $\beta$ . Para ello, tomamos la esperanza condicionada sobre  $Z_{i,t}$  en la expresión (1) y a continuación sustraemos de dicha expresión (1) la correspondiente a la esperanza condicionada. Suponiendo que  $E[u_{i,t}|Z_{i,t}] = 0$ , llegamos a:

$$Y_{i,t} - E[Y_{i,t}|Z_{i,t}] = (X_{i,t} - E[X_{i,t}|Z_{i,t}]) \cdot \beta + u_{i,t} \quad (2)$$

Como puede apreciarse, el paso de la expresión (1) a la expresión (2) implica la eliminación de  $v_i$  y de la función desconocida  $g$ . Por una parte,  $v_i$  es el efecto individual para cada país y no varía con el tiempo por lo que  $E[v_i|Z_{i,t}] = v_i$ . Por otra parte tenemos que  $E[g(Z_{i,t})|Z_{i,t}] = g(Z_{i,t})$ .

La estimación de las esperanzas condicionadas  $E[Y_{i,t}|Z_{i,t}]$  y  $E[X_{i,t}|Z_{i,t}]$ , que se denominarán como  $m_y$  y  $m_x$  respectivamente, se realiza mediante la regresión no paramétrica de cada una de las variables de  $Z_{i,t}$ . Así podemos estimar el vector de parámetros  $\beta$  mediante mínimos cuadrados ordinarios en la expresión (3).

$$Y_{i,t} - m_y = (X_{i,t} - m_x) \cdot \beta + u_{i,t} \quad (3)$$

Finalmente,  $\beta^{est}$  denota el vector de parámetros estimados y según Bertinelli y Strobl (2005) y Poudel *et al* (2009) se puede obtener una estimación de  $g$ , que se denominará  $g_{est}$ , a partir de:

$$g_{est}(Z_{i,t}) = m_y - \beta^{est} \cdot m_x \quad (4)$$

En el presente trabajo, el modelo general propuesto es el siguiente:

$$\begin{aligned} CO_2pc_{i,t} = & \beta_1 CO_2pc_{i,t-1} + \beta_2 IND_{i,t} + \beta_3 OPEN_{i,t} + \\ & + \beta_4 MNE_{i,t} + g(PIBpc_{i,t}) + \varepsilon_{i,t} \end{aligned} \quad (5)$$

En la expresión (5) la variable dependiente  $CO_2pc_{i,t}$  es el  $CO_2$  *per capita*. El vector  $X$  de variables de control de la expresión (1) está formado por  $CO_2pc_{i,t-1}$ , que capta el componente autorregresivo de la serie de emisiones de carbono,  $IND$  que mide la participación de la industria en la estructura sectorial del país  $i$  en  $t$ ,  $OPEN$  que mide el grado de apertura de la economía  $i$  en  $t$  y  $MNE$  que recoge las importaciones netas de energía del país  $i$  en  $t$ . La función  $g$  es una función desconocida, homogénea y diferenciable, que intenta captar el efecto no lineal del PIB en las emisiones de carbono en el momento  $t$ . Como ya se ha comentado, el PIB, al igual que el  $CO_2$ , está en términos *per capita* ( $pc$ ). El término de error  $\varepsilon_{i,t}$  se define de la misma manera que se hizo para la expresión (1).

Aplicando la metodología en dos etapas anteriormente expuesta, se ha estimado el vector  $\beta^{est}$  y la función  $g_{est}$  para cada uno de los subpaneles definidos en la sección II. Para ello, las esperanzas condicionadas se han estimado utilizando el estimador de regresión *kernel* de Nadaraya-Watson. Dado que los resultados de la regresión no paramétrica son altamente sensibles al valor del parámetro de suavización (*bandwidth*) escogido, éste se seleccionó de acuerdo con el criterio del mínimo error cuadrático medio. Asimismo, se emplea la función *kernel* de Epanechnikov, de uso ampliamente extendido en la bibliografía específica y sólida a la presencia de *outliers*. A diferencia de la relevancia que tiene la elección del parámetro de suavización por emplear en la estimación no paramétrica, la elección de la función *kernel* no altera significativamente los resultados. Así, en primer lugar, el vector  $\beta_{est}$  se estima mediante la aplicación de mínimos cuadrados ordinarios a partir de la expresión:

$$\begin{aligned} CO_2pc_{i,t} - m_c = & \beta_1 (CO_2pc_{i,t-1} - m_{cc}) + \beta_2 (IND_{i,t} - m_{ind}) + \\ & + \beta_3 (OPEN_{i,t} - m_o) + \beta_4 (MNE_{i,t} - m_m) + u_{i,t} \end{aligned} \quad (6)$$

en la que  $m_c$ ,  $m_{cc}$ ,  $m_{ind}$ ,  $m_o$  y  $m_m$  corresponden a la regresión no paramétrica de  $CO_2pc_{i,t}$ ,  $CO_2pc_{i,t-1}$ ,  $IND$ ,  $OPEN$  y  $MNE$  sobre el  $PIBpc$  respectivamente. A continuación la función  $g$  queda estimada a partir de la expresión:



$$g_{est}(PIBpc_{i,t}) = m_c - \beta_1^{est} m_{cc} - \beta_2^{est} m_{ind} - \beta_3^{est} m_o - \beta_4^{est} m_m \quad (7)$$

#### IV. RESULTADOS

El cuadro 1 recoge la estimación del vector  $\beta^{est}$  y las gráficas 1-6 exhiben la estimación semiparamétrica de la CKC para los países de la América Latina y el Caribe, con un intervalo de confianza de 95%. La serie  $CO_2pc^*$  recoge en cada uno de los casos la función  $g_{est}(PIBpc_{i,t})$  estimada a partir de la expresión (7).

CUADRO 1. *Resultados de la estimación del vector  $\beta^a$*

	Panel A	Panel B	Panel C	Panel D	Panel E	Panel F
$CO_2pc_{i,t-1}$	0.746*** (12.610)	0.832*** (32.383)	0.679*** (9.055)	0.939*** (18.232)	0.818*** (16.433)	0.807*** (23.875)
$IND_{i,t}$	0.039*** (3.075)	0.001 (1.065)	0.008 (1.604)	0.037* (1.772)	0.001 (0.339)	0.002 (1.345)
$OPEN_{i,t}$	-0.006 (-1.226)	0.0009*** (2.717)	-0.001 (-1.375)	-0.005 (-0.717)	-3.63·10 <sup>-5</sup> (-0.040)	0.001*** (3.352)
$MNE_{i,t}$	7.23E-05 (0.105)	0.0004** (2.432)	-0.001 (-0.957)	0.0008 (0.972)	0.003** (2.092)	0.0006*** (3.851)

<sup>a</sup> Estadístico *t-student* entre paréntesis. Los asteriscos \*\*\*, \*\*, \* denotan que las variables son significativas al 1, 5 y 10%, respectivamente

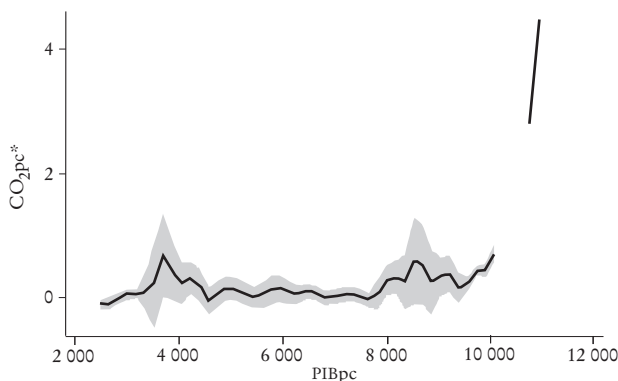
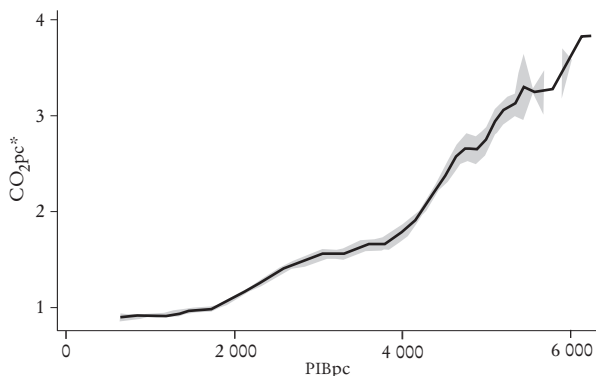
Como puede apreciarse en el cuadro 1, en todos los casos, el término autorregresivo de las emisiones de  $CO_2$  *per capita* resulta significativo y presenta signo positivo en la especificación propuesta, confirmando la idea de que las emisiones presentan cierto grado de inercia. Este comportamiento puede responder principalmente a la imposibilidad técnica de modificar la composición de la matriz energética entre un periodo y otro, y al hecho de que las series consideradas en la estimación toman en cuenta únicamente emisiones de  $CO_2$  provenientes de quema de combustibles fósiles y manufactura de cemento, claramente derivadas de dicha composición.

En primer lugar, se presenta los resultados obtenidos para los paneles A y B, países de ingresos altos e ingresos bajos respectivamente. En relación con el resto de las variables de control, la participación de la industria en el total del PIB de la economía resulta positiva y significativa en el panel A, lo que indica que, de acuerdo con el efecto composición, las economías más desarrolladas de la muestra no habrían llegado aún a su punto máximo de industrialización. Por lo que se refiere al panel B, la participación de la

industria no resulta significativa, lo que indica que el crecimiento del producto en estas economías no respondería en principio al desarrollo de la actividad industrial. En su lugar, cobran importancia las actividades extractivas y otras relacionadas con el sector primario, que son claramente menos contaminantes y cuyo efecto no está reflejado en la serie de emisiones en estudio.

Por otra parte, las dos variables incluidas con el objetivo de captar el efecto del comercio internacional en las emisiones de  $\text{CO}_2$  no son significativas para el panel A pero sí lo son para el panel B y, de acuerdo con lo esperado, exhiben signo positivo. Esto apoyaría la HPH en este grupo de países de menores ingresos, lo que indica que el comercio contribuye a aumentar las emisiones de  $\text{CO}_2$  por medio tanto del intercambio de bienes y servicios como de la cobertura de los requerimientos energéticos. La significatividad del grado de apertura y las importaciones netas de energía en este panel estaría así estrechamente vinculada con la existencia de una normativa ambiental menos estricta que la de economías más avanzadas y un menor poder de coacción (*enforcement*), condiciones necesarias para la verificación de dicha hipótesis. Además, el hecho de que la variable de control del mercado energético resulte significativa también puede estar relacionada con la composición de la matriz energética de los países que conforman el panel y la preponderancia que en ella tienen los combustibles de origen fósil. Esto, sumado a unos requerimientos energéticos cada vez mayores asociados al crecimiento del producto y a la inviabilidad económica de desarrollar otras fuentes de energía, explicaría por qué las importaciones netas de energía contribuyen significativamente al incremento de las emisiones de carbono en el panel de ingresos bajos.

Las gráficas 1 y 2 nos permiten extraer conclusiones relativas a la CKK para los paneles A y B, respectivamente. Como se observa, en ninguno de los dos casos es posible distinguir un comportamiento plausible de ser ajustado a una pauta en forma de U invertida. En el caso del grupo de países más ricos, las emisiones de  $\text{CO}_2$  *per capita* y el PIB *per capita* parecen no guardar un alto grado de relación. No obstante, si se tienen en cuenta las observaciones extremas de Trinidad y Tobago que la estimación semiparamétrica no recoge (agregadas de manera superpuesta a la función  $\text{CO}_2pc^*$  en la gráfica 1, de ahí la discontinuidad que aparece en dicha gráfica), podría evidenciarse la existencia de una relación creciente. Por su parte, en el panel de países de menores ingresos el vínculo entre ambas series es claramente

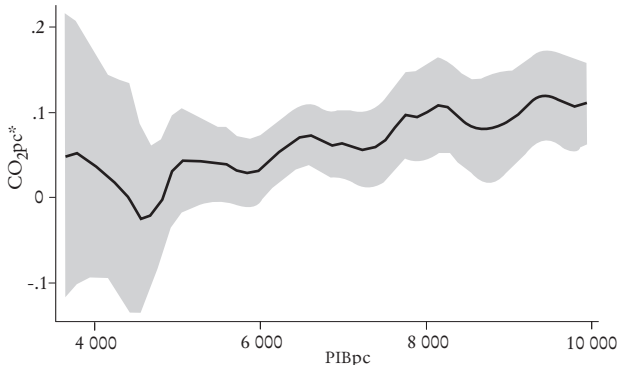
GRÁFICA 1. *Estimación semiparamétrica para países de ingresos altos*GRÁFICA 2. *Estimación semiparamétrica para países de ingresos bajos*

creciente. Esta conclusión relativa a la inexistencia de la CKC se confirma para los otros cuatro subpaneles propuestos.

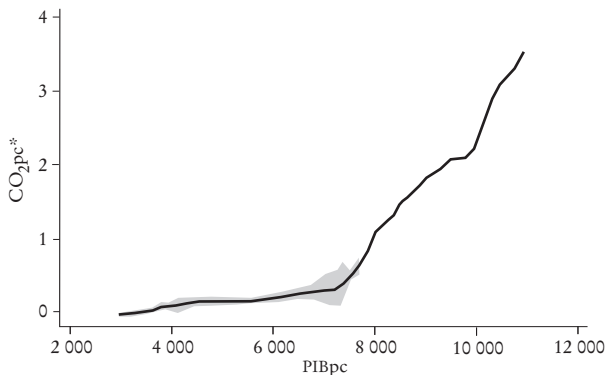
Dado esto, los resultados de este artículo se contradicen con los presentados por los autores que emplean métodos semiparamétricos para la estimación de la CKC, en el sentido de que no hallan pruebas en favor de su existencia. Mientras Poudel *et al* (2009) encuentran una relación en forma de N entre emisiones de  $\text{CO}_2$  e ingreso, no verifica la hipótesis de la CKC para su muestra de países latinoamericanos, tanto Bertinelli y Strobl (2005) como He y Richard (2010) obtienen una relación monótona creciente entre emisiones de  $\text{CO}_2$  *per capita* y PIB *per capita* en sus análisis de corte transversal para 108 países y la economía canadiense, respectivamente.

Las gráficas 3 a 6 exhiben la estimación semiparamétrica para los subpaneles C, D, E y F, correspondientes a países de ingresos altos, medios altos,

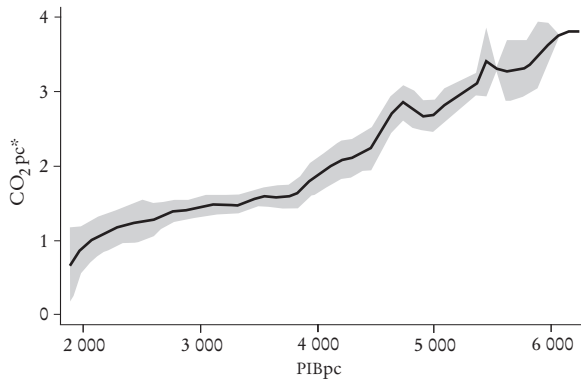
GRÁFICA 3. *Estimación semiparamétrica para países de ingresos altos*

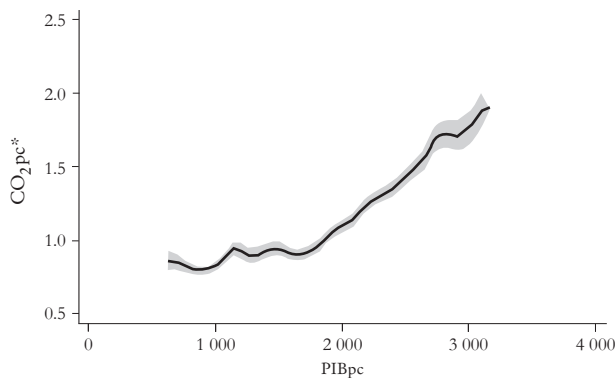


GRÁFICA 4. *Estimación semiparamétrica para países de ingresos medios altos*



GRÁFICA 5. *Estimación semiparamétrica para países de ingresos medios bajos*



GRÁFICA 6. *Estimación semiparamétrica para países de ingresos bajos*

medios bajos y bajos, respectivamente, con un intervalo de confianza de 95%. La mayor desagregación permite evidenciar un sendero creciente en la relación entre emisiones de  $\text{CO}_2$  *per capita* y producto *per capita* para los cuatro grupos de ingreso. No obstante, debe apuntarse que la estimación para el panel C es escasamente confiable, dada la amplitud que se aprecia en los intervalos de confianza.

En relación con las variables de control, cuando la muestra es subdividida en cuatro grupos, las estimaciones mostradas en el cuadro 1 otorgan más fuerza a los resultados encontrados para el análisis de los dos paneles. Por una parte, los países de ingresos altos quedan subdivididos en los paneles C y D. Para el panel C los países con mayor grado de desarrollo de la muestra, la única variable de control significativa es el término autorregresivo y la variable de participación de la industria en el total del producto aparece como no significativa para explicar las emisiones de carbono. Este resultado sugiere que dichos países habrían llegado ya al punto máximo de industrialización dada su estructura productiva, por lo que sucesivos aumentos del producto ya no generarían mayores emisiones de  $\text{CO}_2$  *per capita* debido a que no forzosamente están originados en una mayor actividad del sector secundario. En estos casos, el efecto composición implicaría que los servicios podrían estar adquiriendo mayor preponderancia en la estructura sectorial de la economía, suavizando el efecto de la actividad económica en las emisiones. Sin embargo, al igual que en el panel A, para el grupo de países de ingresos medios altos (panel D), la participación de la industria adquiere una relativa relevancia para explicar las emisiones de  $\text{CO}_2$  (la variable *IND* es significativa a 10% en este panel). Ello podría estar indicando que se trata

de economías que no habrían alcanzado aún su grado máximo de industrialización. De este modo, el crecimiento de la actividad industrial contribuye al crecimiento del producto en este tipo de países, y, por ende, incrementa las emisiones de CO<sub>2</sub> en mayor medida que si se tratara de un crecimiento basado en los sectores primario o terciario.

En relación con las variables relacionadas con el comercio internacional (*OPEN* y *MNE*), los paneles C y D muestran que no son significativas. Esta diferencia entre ambos paneles y los de menores ingresos puede atribuirse al avance que en materia de normativa ambiental han experimentado los países más ricos de la muestra en los años recientes y a un posible proceso de relocalización de emisiones dentro de la misma región. Dado que el comercio internacional no resulta significativo para explicar el sendero de emisiones en ninguno de los dos paneles, los resultados sugieren que el fenómeno de la HPH podría estar operando no ya desde países desarrollados a países en desarrollo, sino entre países del segundo grupo con diferente grado de subdesarrollo. Así, el avance de la normativa ambiental en países en desarrollo en los que con anterioridad existía ciertas pruebas de verificación de la HPH (Jenkins, 2003), podría estar generando ahora un desplazamiento de actividades más contaminantes hacia el grupo de países más pobres de la región por los flujos comerciados internacionalmente. Sin embargo, como las variables relacionadas con el comercio internacional no están desagregadas por origen, no hay pruebas de que este proceso de relocalización de emisiones que estarían sufriendo los países más pobres de la región se genere desde los países de mayores ingresos que forman parte de la muestra, y no desde países desarrollados.

En el panel E, conformado por países de ingresos medios bajos, la variable *MNE* es positiva y significativa, mientras que *OPEN* aparece como no significativa. Ello indica que el comercio internacional contribuye a aumentar las emisiones de CO<sub>2</sub> en estos países por medio de la cobertura de requerimientos energéticos, pero no hay pruebas de que lo haga por el comercio de bienes y servicios, lo que respalda, por tanto, parcialmente la HPH sólo en este último caso. Este efecto negativo del comercio internacional en la calidad ambiental, incipiente en el panel de países de ingresos medios bajos, se confirma en el caso del panel F, que reúne a los países más pobres de la muestra. En este último caso, existen pruebas para afirmar que el sector externo contribuiría positivamente a aumentar las emisiones de CO<sub>2</sub> no sólo mediante la cobertura de los requerimientos energéticos captada por las im-

portaciones netas de energía como en el panel E, sino también el comercio de bienes y servicios, por lo que la HPH se hace aún más evidente.

Si se comparan los resultados de este estudio con los obtenidos en trabajos que han utilizado también técnicas semiparamétricas, se observa lo siguiente. En relación con la participación de la industria en el total del producto, los resultados de este trabajo coinciden parcialmente con los presentados por He y Richard (2010) para Canadá, que encuentran un coeficiente significativo y positivo para una economía desarrollada. En efecto, cuando la muestra se subdivide en dos paneles, en el de mayores ingresos la participación de la industria resulta significativa y positiva mientras que en el de ingresos más bajos dicha variable pierde significatividad. No obstante esto, cuando la muestra se divide en cuatro grupos, sólo en el panel de ingresos medios altos la participación de la industria es significativa, vislumbrándose así el efecto composición en diferentes grados de desarrollo de las economías. Respecto al comercio internacional, estos autores encuentran que esta variable no es determinante para explicar la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este último resultado se condice por los resultados de este trabajo, ya que sólo en el caso de los países de ingresos medios bajos y bajos las variables de apertura e importaciones netas de energía resultan significativas, mientras en el caso de los países de mayores ingresos dicha relación no se verifica.

Sin embargo, a diferencia de los resultados de Bertinelli y Strobl (2005), en los que el grado de apertura no incide ni cualitativa ni cuantitativamente en los resultados obtenidos, en este artículo las pruebas en favor del cumplimiento de la hipótesis de la HPH emerge en el grupo de países de ingresos medios bajos y se torna más evidente en el grupo de países más pobres de la región, para los que ambas variables relacionadas con el sector externo afectan positivamente las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por su parte, el trabajo de Poudel *et al* (2009) no incluye ninguna de las variables de control aquí incorporadas. En su lugar, encuentra significativa la tasa de forestación para explicar el sendero de emisiones para su muestra de países latinoamericanos, mientras que la densidad poblacional y la tasa de analfabetismo resultan no significativas en su estimación. Como se señaló líneas arriba, la inclusión de la tasa de forestación como variable de control no es pertinente en este caso, dado que la serie de emisiones de CO<sub>2</sub> en estudio sólo incluye las provenientes de quema de combustibles fósiles y manufactura de cemento, y excluye las provenientes de cambios de uso de la tierra.

Asimismo, conviene destacar que el resultado obtenido en cuanto a la

no verificación de la CKC en las distintas muestras analizadas se mantiene cuando se utilizan otras especificaciones. En concreto, se han considerado dos especificaciones: la primera excluye el término autorregresivo y la segunda incluye los precios del petróleo.<sup>3</sup> Respecto a esta última, en términos generales, el signo esperado para el coeficiente de precio de petróleo es negativo, ya que el encarecimiento del petróleo puede llevar a las industrias a orientarse a tecnologías menos intensivas en petróleo (y por tanto, menos contaminantes). Sin embargo, sería posible esperar un signo positivo para los países productores de petróleo porque el incremento en los precios del petróleo podría incrementar las actividades de extracción y refinería, lo que aumenta la contaminación. En el presente artículo los precios del petróleo aparecen significativos y con signo negativo para los paneles B, E y F, mientras que no son significativos en el resto de los casos —al igual que en el trabajo de He y Richards (2010)—. Predomina, por tanto, el primero de los efectos. Este resultado responde al hecho de que la mayoría de los países de la muestra, como se apuntó en la sección II, son precio aceptantes en el mercado internacional de crudo.

Finalmente, debe señalarse las limitaciones de los resultados obtenidos, dada la inclusión de la variable dependiente rezagada, la posibilidad de que las series sean no estacionarias y de que exista autocorrelación en los errores. Además, la omisión de determinadas variables institucionales, culturales o geográficas que afectan a la vez a la calidad ambiental y al crecimiento económico, pueden plantear el problema de una posible simultaneidad entre las emisiones de  $\text{CO}_2$  *pc* y el PIB *pc*, en la línea que señalan Lin y Liscow (2012) entre la polución del agua (variable que eligen para aproximarse a la calidad ambiental) y el crecimiento económico. En este caso, el método empleado no permitiría extraer conclusiones en cuanto a una relación causal entre ambas variables sino, más bien, establecer una asociación estadística entre las mismas.

## CONCLUSIONES

Los resultados de las estimaciones semiparamétricas de la CKC planteadas en este trabajo conducen a cuatro conclusiones. En primer lugar, no hay pruebas de verificación de la hipótesis para ninguno de los paneles forma-

<sup>3</sup> Los resultados de ambas especificaciones están disponibles previa petición a los autores.



dos por países de la América Latina y el Caribe. Mientras la CKC prevé una relación creciente a ritmo decreciente entre emisiones de carbono y producto para economías en desarrollo, por hallarse éstos a la izquierda de sus respectivos *turning points*, los resultados muestran que dicha relación no exhibe una concavidad que permita afirmar que futuros incrementos del producto generen mejoras en la calidad ambiental.

En segundo lugar, sólo el componente autorregresivo de las emisiones de CO<sub>2</sub> *per capita* resulta relevante como variable de control en todos los casos analizados. Las importaciones netas de energía afectan positivamente a las emisiones de carbono sólo en el caso de los países de ingresos medios bajos e ingresos bajos de la región, lo que aporta pruebas en favor del cumplimiento de la HPH en los mismos, hipótesis que se confirma el caso de los países más pobres de la región para los que el grado de apertura de la economía también afecta positivamente las emisiones de carbono.

En tercer término, queda probada la irrelevancia de la hipótesis de la CKC para desestimar la importancia de la política ambiental en la lucha contra el cambio climático. La América Latina y el Caribe es una de las regiones más afectadas por el avance de este fenómeno, principalmente debido a su particular situación de vulnerabilidad. Sólo entre 1970 y 2008 se estima que los fenómenos hidrometeorológicos inducidos por el calentamiento global le han costado a la región 81.4 mil millones de dólares anuales (CEPAL, 2009). Entre éstos, el aumento del nivel del mar y sus consecuencias en el frente costero, el avance del proceso de desertificación de zonas cultivables, la disminución en la disponibilidad de agua dulce debido al retroceso de los glaciares andinos y los aumentos en las temperaturas del Pacífico con sus consecuentes efectos en los ecosistemas marinos resultan los efectos más difundidos y, por ende, los primeros a ser abordados en la elaboración de cualquier estrategia de política climática en la región.

En cuarto y último lugar, la recomendación de la CKC de “esperar y crecer” para resolver la problemática ambiental pierde total significado, no sólo por los resultados de las estimaciones realizadas sino también por el alto grado de irreversibilidad de los daños generados por el cambio climático. En efecto, aún en el hipotético caso de que en un horizonte lejano estos países logran alcanzar un punto de transición en su relación entre emisiones de carbono y producto, la calidad ambiental no se recuperará sobre una base de recursos degradada o ecosistemas extinguidos. Por todo esto, la recomendación de política de este artículo consiste en reafirmar la necesidad de aplicar políticas

de adaptación y mitigación como único camino para atenuar los efectos del cambio climático en la América Latina y el Caribe.

En un contexto de marcada vulnerabilidad y necesidades apremiantes de adaptación ante el acelerado avance de los efectos del cambio climático, no es posible continuar debatiendo una hipótesis que ha sido probadamente refutada en el caso de países en desarrollo. En su lugar, se debe avanzar en la búsqueda de soluciones para frenar el embate de este fenómeno en las zonas más afectadas, por medio de políticas de adaptación y mitigación tendientes a mejorar las condiciones de vida en la región.

Para concluir, conviene apuntar que los resultados alcanzados en este trabajo deben interpretarse con cautela. Por una parte, por las limitaciones derivadas de la inclusión de rezagos de la variable dependiente como variable explicativa y por la posibilidad de presencia tanto de autocorrelación en los errores como de series no estacionarias. Por otra parte, porque la omisión de variables de tipo institucional, cultural o geográfico, que afectan tanto a las emisiones de  $\text{CO}_2$  *per capita* como al PIB *per capita*, podría generar un problema de simultaneidad entre ambas variables, en cuyo caso la metodología aplicada nos permitiría determinar una asociación estadística entre ellas, pero no establecer una relación de causalidad entre la calidad ambiental y el crecimiento económico.

## APÉNDICE

### *Análisis cluster*

Para la clasificación de los países según la renta se emplearon tres técnicas de análisis *cluster*: bietápico, *k*-medias y jerárquico. En los tres casos se ha elegido como medida de distancia la distancia euclídea, ampliamente utilizada, y recomendable cuando, como es el caso en estudio, las variables son homogéneas y están medidas en unidades similares.

Por una parte, el análisis de conglomerados bietápico o *cluster* en dos fases permite seleccionar de manera automática el número óptimo de conglomerados finales. Para calcular el número óptimo de *cluster*, el *software* utilizado (SPSS 18.0) permite utilizar dos criterios para optimar resultados: el de Schwartz y el de la información de Akaike.

Con el fin de constatar el grado de solidez de la clasificación obtenida, se ha aplicado el método bietápico con ambos criterios. Además, como la ordenación de los datos afecta a los resultados, se realizaron varias reordenaciones aleatorias de la

muestra para confirmar los resultados. Finalmente, todas las pruebas realizadas con este método convergieron a los mismos resultados: los países se pueden clasificar en dos grupos, el primero, que puede considerarse de renta alta, incluye a seis países (Argentina, Barbados, México, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela) y el segundo, países de renta baja, en el que se encuentran los 15 restantes.

Por otra parte, para corroborar los resultados, se empleó el análisis *cluster* jerárquico y el de comparación de *k*-medias, imponiendo en ambos casos que se construya el número de *cluster* indicado por el análisis *cluster* bietápico. De nuevo, se obtuvo la misma clasificación de los países señalada anteriormente.

En relación con el análisis *cluster* jerárquico, para comprobar la solidez de las agrupaciones obtenidas, se utilizaron los dos métodos de conglomeración que suele emplearse de manera generalizada: el de Ward y el de promedio entre grupos. El primero supone que la pérdida de información derivada de la integración de los distintos individuos en *clusters* puede medirse mediante la suma total de los cuadrados de las desviaciones entre cada punto (países en el caso de este artículo) y la media del *cluster* en el que se integra. Para que el proceso de clusterización resulte óptimo, en el sentido de que los grupos formados no distorsionen los datos originales, en cada paso del análisis, se considera la posibilidad de la unión de cada par de grupos y se opta por la fusión de los dos grupos que menos incrementen la suma de los cuadrados de las desviaciones al unirse. El segundo método de promedio entre grupos mide la distancia entre dos conglomerados por la media aritmética de todas las posibles distancias entre los pares de individuos, de manera que cada componente del par pertenezca a un conglomerado distinto.

A continuación, con el fin de realizar un análisis más pormenorizado, se consideró conveniente efectuar una clasificación con mayor desagregación. Para ello, únicamente pueden emplearse los análisis *cluster k*-medias y jerárquico. En ambos métodos se impuso previamente la clasificación en tres y cuatro grupos y se realizaron todas las pruebas de robustez de las clasificaciones mencionadas, obteniéndose en todos los casos la clasificación que se presenta en el cuadro 1.

CUADRO A1. *Análisis cluster. Resumen de resultados*

Número cluster: 2	Renta media del grupo* (1960-2008)	Número cluster: 4	Renta media del grupo* (1960-2008)
Argentina	6 176.93	Argentina	7 057.41
Barbados		Barbados	
México		México	
Trinidad		Trinidad Uruguay	5 296.45
Uruguay		Venezuela	
Venezuela			

CUADRO A1 (conclusión)

Número cluster: 2	Renta media del grupo* (1960-2008)	Número cluster: 4	Renta media del grupo* (1960-2008)
Bolivia	—	Brasil	3 143.69
Brasil		Costa Rica	
Colombia		Chile	
Costa Rica		Panamá	
Chile		Bolivia	
Ecuador		Colombia	1 420.19
El Salvador		Ecuador	
Guatemala		El Salvador	
Guyana		Guatemala	
Honduras		Guyana Honduras	
Nicaragua		Nicaragua	
Panamá		Paraguay	
Paraguay		Perú	
Perú		República Dominicana	
República Dominicana			

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrow, K., B. Bolin, R. Constanza, P. Dasgupta, C. Folke, C. S. Holling, B. O. Jansson, S. S. Levin, K. G. Mäler, C. Perrings y D. Pimentel (1995), "Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment", *Ecological Economics*, 15, pp. 91-95.
- Azomahou, T., F. Laisney y N. Van Phu (2006), "Economic Development and CO<sub>2</sub> Emissions: A Nonparametric Panel Approach", *Journal of Public Economics*, 90, pp. 1347- 1363.
- \_\_\_\_\_, y N. Van Phu (2001), "Economic Growth and CO<sub>2</sub> Emissions: A Nonparametric Approach", BETA Working Paper 2001-01, Université Louis Pasteur, Estrasburgo.
- Beckerman, W. (1992), "Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?", *World Development*, 20, pp. 481-496.
- Bengochea, A., F. Higón y I. Martínez Zarzoso (2001), "Economic Growth and CO<sub>2</sub> Emissions in the European Union", *Environmental and Resource Economics*, 19, pp. 165-172.
- Bertinelli, L., y E. Strobl (2005), "The Environmental Kuznets Curve Semi-parametrically Revisited", *Economics Letters*, 88, pp. 350-357.
- Bhattarai, M., y M. Hammig (2001), "Institutions and the Environmental Kuznets Curve for Deforestation: A Cross-Country Analysis for Latin America, Asia and Africa", *World Development*, 29, pp. 995-1010.
- Bimonte, S. (2002), "Information Access, Income Distribution, and the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, 41, pp. 145-156.

- CEPAL-GTZ (2009), *Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: Una reseña*, CEPAL, Santiago de Chile, 2009.
- Cole, M. A. (2004), "Trade, the Pollution Haven Hypothesis and Environmental Kuznets Curve: Examining the Linkages", *Ecological Economics*, 48, pp. 71-81.
- Copeland, B. R., y M. S. Taylor (2004), "Trade, Growth and the Environment", *Journal of Economic Literature*, 42, pp. 7-71.
- Dasgupta, S., B. Laplante y N. Mamingi (2001), "Pollution and Capital Market in Developing Countries", *Journal of Environmental Economics and Management*, 42, pp. 310-335.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, H. Wang y D. Wheeler (2002), "Confronting the Environmental Kuznets Curve", *Journal of Economic Perspectives*, 16, pp. 147-168.
- Dijkgraaf, E., y H. Vollebergh (2001), "A Note on Testing for Environmental Kuznets Curves with Panel Data", CLIM, Climate Change Modelling and Policy, Fondazione Enrico Mattei, Nota di Lavoro 63-2001.
- Dinda, S. (2004), "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey", *Ecological Economics*, 49, pp. 431-455.
- \_\_\_\_\_, y D. Coondoo (2006), "Income and Emission: A Panel Data-Based Cointegration Analysis", *Ecological Economics*, 57, pp. 167-181.
- Fodha, M., y O. Zaghdoud (2010), "Economic Growth and Pollutant Emissions in Tunisia: An Empirical Analysis of the Environmental Kuznets Curve", *Energy Policy*, 38, pp. 1150-1156.
- Friedl, B., y M. Getzner (2003), "Determinants of CO<sub>2</sub> Emissions in a Small Open Economy", *Ecological Economics*, 45, pp. 133-148.
- Galeotti, M., A. Lanza y F. Pauli (2006), "Reassessing the Environmental Kuznets Curve for CO<sub>2</sub>: A Robustness Exercise", *Ecological Economics*, 57, pp. 431-455.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ y M. C. L. Piccoli (2011), "The Demographic Transition and the Ecological Transition: Enriching the Environmental Kuznets Curve Hypothesis", IEF Working Papers, WP 44.
- \_\_\_\_\_, M. Manera y A. Lanza (2009), "On the Robustness of Robustness Checks of the Environmental Kuznets Curve Hypothesis", *Environmental and Resource Economics*, 42, pp. 30-49.
- Grossman, G., y A. Krueger (1991), "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", NBER, Working Paper núm. 3914.
- Harbaugh, W., A. Levinson y M. Wilson (2000), "Reexamining the Empirical Evidence for an Environmental Kuznets Curve", NBER, Working Paper núm. 7711.
- He, J., y P. Richard (2010), "Environmental Kuznets Curve for CO<sub>2</sub> in Canada", *Ecological Economics*, 69, pp. 1083-1093.
- Hettige, H., M. Mani y D. Wheeler (2000), "Industrial Pollution in Economic Development: The Environmental Kuznets Curve Revisited", *Journal of Development Economics*, 62, pp. 445-476.

- Holtz-Eakin, D., y T. M. Selden (1995), "Stoking the Fires? CO<sub>2</sub> Emissions and Economic Growth", *Journal of Public Economics*, 57, pp. 85-101.
- IEA (2011), "CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion. Highlights", IEA Statistics.
- IPCC (2007), "Cambio climático 2007: Informe de síntesis", IPCC, Ginebra, Suiza.
- Jalil, A., y S. Mahmud (2009), "Environment Kuznets Curve for CO<sub>2</sub> Emissions: A Cointegration Analysis for China", *Energy Policy*, 37, pp. 5167-5172.
- Jenkins, R. (2003), "La apertura comercial: ¿ha creado paraísos de contaminadores en América Latina?", *Revista de la CEPAL*, 80, pp. 85-100.
- Jung, T. Y., E. L. La Rovere, H. Gaj, P. R. Shukla y D. Zhou (2000), "Structural Changes in Developing Countries and Their Implication for Energy-Related CO<sub>2</sub> Emissions", *Technological Forecasting and Social Change*, 63, pp. 111-136.
- Kearsley, A., y M. Riddel (2010), "A Further Inquiry into the Pollution Haven Hypothesis and the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, 69, pp. 905-919.
- Kumar, S., y S. Managi (2010), "Environment and Productivities in Developed and Developing Countries: The Case of Carbon Dioxide and Sulfur Dioxide", *Journal of Environmental Management*, 91, pp. 1580-1592.
- Li, Q., y S. Racine (2007), *Nonparametric Econometrics*, (1ª ed.), Princeton, Princeton University Press.
- Lin, C.-Y. C., y Z. D. Liscow (2012), "Endogeneity in the Environmental Kuznets Curve: An Instrumental Variables Approach", *American Journal of Agricultural Economics*, de próxima aparición (disponible en doi: 10.1093/ajae/aas050).
- Martínez Zarzoso, I., y A. Bengochea (2003), "Testing for an Environmental Kuznets Curve in Latin-American Countries", *Revista de Análisis Económico*, 18, pp. 3-26.
- Narayan, P. K., y S. Narayan (2009), "Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth: Panel Data Evidence from Developing Countries", *Energy Policy*, 38, páginas 661-666.
- Nasir, M., y F. U. Rehman (2010), "Environmental Kuznets Curve for Carbon Emissions in Pakistan: An Empirical Investigation", *Energy Policy*, 39, pp. 1857-1864.
- Ordaz, C. (2008), "Temporal and Spatial Homogeneity in Air Pollutants Panel EKC Estimations. Two Nonparametric Tests Applied to Spanish Provinces", *Environmental and Resources Economics*, 40, pp. 265-283.
- Panayotou, T. (1997), "Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool", *Environment and Development Economics*, 2, páginas 465-484.
- Poudel B., K. Paudel y K. Bhattacharai (2009), "Searching for an Environmental Kuznets Curve in Carbon Dioxide Pollutant in Latin American Countries", *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41, pp. 13-27.
- Richmond, A. K., y R. K. Kaufmann (2006), "Energy Prices and Turning Points: The Relationship Between Income and Energy Use/Carbon Emissions", *Energy Journal*, 27, pp. 157-80.

- Ríos, S. P., y P. Da Motta Vega (2010), "Tackling Climate Change in Latin America and the Caribbean: issues for an agenda", Institute for the Integration of Latin America and the Caribbean (IDB-INTAL), @*Journal*, 30, pp. 55-70.
- Robinson, P. M. (1988), "Root-n Consistent Semiparametric Regression", *Econometrica*, 56, pp. 875-891.
- Roca, J., E. Padilla, M. Farre y V. Galetto (2001), "Economic Growth and Atmospheric Pollution in Spain: Discussing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis", *Ecological Economics*, 39, pp. 85-99.
- Selden, T. M., y D. Song (1994), "Environmental Quality and Development: is there a Kuznets Curve for Air Pollutions Emissions?", *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, pp. 147-216.
- Schelling, T. C. (1992), "Some Economics of Global Warming", *American Economic Review*, 82, pp. 1-14.
- Shafik, N., y S. Bandyopadhyay (1992), "Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence", *Policy Research Working Paper*, World Development Report, WPS 904.
- Shahbaz, M., H. H. Lean y M. Shabaz Shabir (2012), "Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger Causality", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, pp. 2947- 2953.
- Stern, D. I. (2004), "The Rise and Fall on the Environmental Kuznets Curve", *World Development*, 32, pp.1419-1439.
- \_\_\_\_\_, M. S. Common y E. B. Barbier (1996), "Economic Growth and Environmental Degradation: The Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development", *World Development*, 24, pp. 1151-1160.
- Suri, V., y D. Chapman (1998), "Economic Growth, Trade and Energy: Implications for the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, 25, pp. 195-208.
- Torras, M., y J. K. Boyce (1998), "Income Inequality and Pollution: Reassessment of the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, 25, pp. 147-170.
- Vollebergh, H. R. J., E. Dijkgraaf y B. Melenberg (2005), "Environmental Kuznets Curves for CO<sub>2</sub>: Heterogeneity versus Homogeneity", Center Discussion Paper núm. 2005-2025.
- Wagner, M. (2008), "The Carbon Kuznets Curve: A Cloudy Picture Emitted by Bad Econometrics?", *Resource and Energy Economics*, 30, pp. 388-408.
- Wang, L. (2010), "A Nonparametric Analysis on the Environmental Kuznets Curve", *Environmetrics*, 22, pp. 420-430.
- WRI, World Resources Institute. Earthtrends. <http://earthtrends.wri.org>.
- Zilio, M. (2011), "La curva de Kuznets ambiental: Evidencia para América Latina y el Caribe", tesis doctoral, Departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.