

## Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

**BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA**  
UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
Chía - Cundinamarca

# **Impacto de la economía en la emisión de gases locales y globales: evidencia de la Curva Ambiental de Kuznets**

Nadya Katerina Lamilla Cabrera

Código: 201013013

Universidad de La Sabana

Diciembre 2013

## **Resumen**

La Curva Ambiental de Kuznets explica una relación de U invertida entre la polución (identificada en este documento como las emisiones per cápita de GEI, NO<sub>x</sub> y CO) y el desarrollo económico. Por medio de panel de datos se analizaron 41 países; teniendo en cuenta efectos fijos y aleatorios se determinaron diferentes puntos de inflexión. Posteriormente se procedió a explicar teóricamente el comportamiento de la curva y se añadieron consideraciones, de ciertos autores, sobre cómo la política ambiental afecta a este modelo. Finalmente se demostró que los modelos varían de acuerdo a la naturaleza de los indicadores ambientales utilizados y se incentiva al estudio de otros como la reducción de biodiversidad y el desgaste de recursos.

Palabras claves: Curva ambiental de Kuznets, degradación ambiental, crecimiento económico, punto inflexión, efectos fijos, efectos aleatorios, panel de datos.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Impacto de la economía en la emisión de gases locales y globales: evidencia de la Curva Ambiental de Kuznets ..... | 2  |
| <b>Resumen</b> .....   | 2  |
| 1. Introducción .....  | 4  |
| 2. Antecedentes teóricos .....   | 5  |
| 3. Metodología.....  | 11 |
| 4. Resultados.....   | 13 |
| 5. Conclusiones .....  | 17 |
| <b>Notas</b> .....   | 19 |
| <b>Bibliografía</b> .....  | 22 |

# 1. Introducción

En diversos medios se habla de medio ambiente y de cómo el ser humano y su poder industrial han afectado distintos niveles de calidad ambiental; sin embargo, es evidente que esta relación ha variado a lo largo del tiempo y aunque es un fenómeno global, se presenta en diferente grado dependiendo de los países y de su economía. Debido a esto, un considerable número de autores han optado por teorías estadísticas para cuantificar y medir su proporción, de esta manera se ha difundido una teoría que explica la relación entre la degradación ambiental<sup>1</sup> y el nivel de desarrollo económico de los países (o ciudades, regiones, etc.). Esta teoría es llamada la Curva Ambiental de Kuznets (CAK), nombrada por el autor original pese a que éste no fue el que hizo la relación directa con aspectos ambientales.

En su trabajo original Kuznets (1955) establece las causas de cambios a largo plazo en la distribución del ingreso, en la que contrasta la inequidad en la distribución del ingreso con el crecimiento económico de un país, concluyendo que la relación tiene la forma de una U invertida; posteriormente esta relación se utilizó en varios campos como se mostrará en este marco teórico. Precisamente en el área de la economía ambiental, Grossman y Krueger (1991) mencionan la Curva Ambiental de Kuznets (CAK) en la que se contrasta un indicador de degradación ambiental (de aire y de agua) con el ingreso per cápita. De la misma manera, en las etapas iniciales del desarrollo económico la degradación y la polución aumentan hasta llegar a un punto del ingreso per cápita en donde la tendencia se revierte; a medida que el ingreso per cápita aumenta en ese punto de inflexión, la degradación ambiental decae. Este concepto fue ampliamente adoptado y popularizado a través del Reporte de Desarrollo del Banco Mundial en 1992. De acuerdo a la metodología usada al artículo original, se usa una regresión entre las variables ya mencionadas. Sin embargo, varios trabajos más recientes han mejorado el método original.

En este documento se busca establecer la relación que hay, a través de la CAK, entre la degradación ambiental del aire con el desarrollo económico de países que se encuentran en situaciones económicamente similares. A pesar de que se han realizado varios estudios sobre esta teoría ampliamente extendida, no se ha podido tener uniformidad para confirmar su veracidad.

Objetivo general:

El presente trabajo plantea realizar una aproximación al modelo de CAK y revalidar esta hipótesis de U invertida para 29 países<sup>2</sup>. Para ello se propone modelos de datos de panel (por las dos muestras), que actúan arrojando resultados interpretativos de acuerdo a la naturaleza de los gases analizados (de efectos locales o globales); las estimaciones serán evaluadas con una prueba de ajuste de Hausman para así considerar la solidez del modelo.

---

<sup>1</sup> Se entiende por degradación ambiental el cambio negativo evidente que ha sufrido un entorno (aire, agua, suelo) causado por condiciones adversas al desarrollo normal de la vida en el mismo.

<sup>2</sup> Ver Notas Finales para la lista completa de los países analizados.

Objetivos específicos:

- *Actualizar la teoría con datos más recientes entre los años 1990 a 2010.*
- *Evaluar la diferencia de los gases de acuerdo al efecto local (CO y NOx) o global (GEI).*
- *Calcular los puntos de inflexión para cada muestra.*

El estudio será de importancia para el lector dado que el medio ambiente es un tema actual y el análisis de su comportamiento, en particular con respecto al crecimiento económico, llevará a tomar decisiones más eficaces de manera global. Finalmente, verificando la teoría se permitiría analizar más detalladamente las políticas que se deben proponer para contrastar la mitigación en el daño ambiental.

En la segunda sección del trabajo se busca ilustrar al lector con los modelos planteados por diferentes autores y la evolución en las estimaciones sobre la teoría. Aunque la literatura no es concluyente frente a este aspecto, permite tener una aproximación sobre las metodologías utilizadas y sus limitaciones. Además ciertos estudios amplían la teoría al tratar de explicar intuitivamente la lógica de la relación y comentan que hay ciertos factores externos que deben tomarse en cuenta como la tecnología y las políticas ambientales de cada país. En la tercera parte se describe la metodología utilizada de datos de panel y se describe el modelo teórico; a la vez se enuncia la hipótesis de la presencia de la CAK dependiendo del comportamiento de los parámetros de pendiente de las variables explicativas. Más adelante se desarrolla y se explica el modelo planteado para cada muestra; además se realiza un análisis comparativo con los resultados obtenidos en trabajos previos. Finalmente se establecen las limitaciones y consideraciones del modelo estimado, junto con los alcances del trabajo.

## 2. Antecedentes teóricos

Stern (2004) explica que la CAK es un fenómeno empírico en el que la mayoría de la literatura que él revisa es económicamente débil. Expone la posibilidad de sesgo por variable omitida y los posibles problemas por las propiedades estadísticas de los datos usados (tendencia estocástica en serie de tiempo), en donde es posible hallar correlaciones espurias. Para ello, propone dos enfoques en los que analiza los factores inmediatos que impulsan los cambios en las emisiones de polución; en primer lugar, el índice del número de emisiones de descomposición y en segundo lugar, las fronteras de producción estimadas usando una programación lineal o econometría. Para el primero se necesita información sectorial detallada del consumo de combustible, su producción y emisiones, etc. Por otro lado, los modelos de frontera pueden estimar los factores comunes en los países además de los componentes idiosincráticos para cada país, y las versiones econométricas permiten error aleatorio. Por lo anterior Grossman (1995) y de Bruyn (1997) proponen una función de descomposición como se ve a continuación:

$$E_{it} \equiv \sum_{j=1}^n Y_{it} I_{ijt} S_{ijt}, \quad (1)$$

Donde  $E_{it}$  son las emisiones en el país  $i$  para el año  $t$ ;  $Y$  es el PIB;  $I_j$  son las emisiones intensivas del sector  $j$ ; y,  $S_j$  es la proporción de ese sector  $j$  dentro del PIB. Finalmente concluye que dada la

innovación que se presenta con el paso del tiempo, la polución se reduce; la cual se desarrollará más rápidamente en países desarrollados y en un lapso mayor en países en vía de desarrollo.

Hung y Shaw (2006) estudiaron la CAK que se presenta en Taiwán entre la contaminación aérea y el ingreso per cápita. Dentro de su estudio cabe destacar que la calidad de los datos obtenidos es muy buena, pues se hizo directamente, sin recurrir a fuentes secundarias. Tal condición, junto con un buen análisis del contexto permite hacer conclusiones significativas y con poco margen de error. Para la recolección de datos se tiene en cuenta que la polución se identifica por las concentraciones de dióxido de nitrógeno y de monóxido de carbono. Los autores mencionan que estas variables son endógenas pues argumentan que no es unidireccional la relación entre contaminación aérea e ingreso per cápita. Luego de la aplicación empírica del Test de Hausman se demostró que si bien así como crece el ingreso también aumenta la contaminación, ésta no afecta significativamente al primero. Sin embargo ellos argumentan teóricamente que la calidad ambiental afecta el indicador económico por dos razones principales: el decaimiento de la calidad de vida de los trabajadores y el costo médico del tratamiento de enfermedades, como la erosión de equipos y daño de productos en primer lugar; también porque se aumentan los costos de producción, lo que reduce la ganancia neta.

Luego de ver el modelo de U invertida que resultó, se pudo ver el comportamiento que se presenta en la mayoría de ciudades que luego de alcanzar cierto nivel económico se empiezan a abrir las puertas para mejores condiciones en calidad del aire (y del ambiente en general). Sin embargo, pese a que sí es estadísticamente concluyente que el ingreso per cápita afecta al medio ambiente, no se puede decir lo mismo de manera contraria, ya que no siempre se responde económicamente por las externalidades y costos de control de contaminación.

En contraste con los estudios presentados anteriormente, el acercamiento que hace Cole, Rayner y Bates (1997) no trata de enfocarse en una sola región sino que es mucho más internacional; usan panel de datos en diversos países. Además, no se limitan a pocos indicadores ambientales, es posible ver cómo el uso de más de diez indicadores permite una aproximación más acertada de la calidad ambiental. Al examinar una variedad de indicadores se distingue que la CAK aplica para una parte de ellos; de esta forma, se mejora la metodología al corregir autocorrelación y heteroscedasticidad.

Para este caso, el análisis se dividió en dos impactos principales. El primero tiene por característica principal los indicadores que afectan localmente el ambiente, como los óxidos de azufre, promotores de material particulado; óxidos de nitrógeno, directamente asociados con las fuentes móviles terrestres; y el monóxido de carbono. El segundo impacto radica en los indicadores que conllevan un efecto negativo de manera global, lo cuales serían, básicamente, los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, metano, y en menor medida los CFC (compuestos clorofluorocarbonados, destructores de la capa de ozono). Esta diferenciación permite encontrar los verdaderos responsables de concentraciones preocupantes de los

contaminantes mencionados, así mismo es posible hacer la comparación efectiva con el indicador que representa el ingreso per cápita.

Puntualmente, los indicadores de contaminación que están directamente relacionados con el ingreso per cápita son los contaminantes que se consideran locales, de esta manera, es más sencillo reducir la polución en áreas urbanas que en una región amplia por la capacidad de las ciudades de establecer políticas puntuales y aplicar tecnologías de reducción de emisiones. Esto último se ha puesto en evidencia en las economías desarrolladas quienes ya no deben preocuparse por los contaminantes, pero es un criterio más alarmante para el resto de los países.

Apoyando este trabajo, se ubica Parrilla (2009) el cual 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. Metodológicamente, la principal aportación del estudio realizado es el tratamiento de la falta de estacionalidad 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. Los resultados obtenidos muestran evidencia acorde con la hipótesis de la CAK, 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.

De forma similar Kochi y Medina (2013) introducen un modelo en México teniendo en cuenta los factores subyacentes a la relación entre degradación ambiental y el ingreso. Como ellos mencionan, estos modelos son útiles para el análisis de políticas donde se pueda identificar eficazmente el efecto de los cambios de factores socioeconómicos, pues separa los contaminantes de acuerdo a las fuentes a los que éstos se relacionan: de producción o de consumo. Ellos estudian el  $SO_2$  de acuerdo a si proviene de grandes industrias, de pequeñas fábricas, a la polución de automóviles o debido a actividades propias en la naturaleza. Finalmente concluyen que, a pesar de haber encontrado evidencia de la relación de U invertida entre sus variables, otros indicadores como factores políticos, avances tecnológicos y la calidad de las políticas ambientales actuales, pueden traer efectos sobre la relación entre ingreso y degradación ambiental. Además señalan que se presentan cambios entre las fuentes de polución provenientes automóviles y de pequeñas fábricas; mientras que los primeros disminuyen con el tiempo, los últimos aumentan.

Finalmente, Panayotou (2003) explora la relación entre CAK y las políticas ambientales que deben implementarse. Teniendo en cuenta que la CAK está soportada con evidencia, las políticas de desarrollo deben adecuarse a los momentos que pase cada país. Si éste se ubica antes del punto de inflexión, las regulaciones ambientales deben ser estrictas para que limiten el crecimiento económico y así garantizar una escala sostenible de la actividad económica en el

ecológico sistema de soporte vital. Pasado este punto, sugiere que las políticas que aceleran el crecimiento económico, conducen también a las rápidas mejoras ambientales y no son necesarias las políticas ambientales explícitas y, de hecho, pueden ser contraproducentes si desaceleran el crecimiento económico y con ello retrasan la mejora del medio ambiente. Se debe tener en cuenta el rol del cambio estructural, cambio tecnológico y medidas ambientales y económicas en el proceso de disociación y la reconciliación de los objetivos económicos y ambientales.

Panayotou (2003) propone en primer lugar, ligar las políticas económicas a las ambientales dentro de un escenario de largo plazo y que requiera intervenciones activas, para que los subsidios a actividades dañinas para el ambiente no continúen. En segundo lugar, el apoyo tecnológico debe estar en las agendas de economías desarrolladas y emergentes; históricamente se ha demostrado que los cambios tecnológicos no afectan negativamente la productividad ni la comodidad ambiental. Tercero, es necesario que industrialmente se considere el cambio de tecnologías, incluyendo la estructura de precios en el mercado, como algo que no es necesariamente negativo, pero que también debe tener en cuenta las externalidades sociales, los costos de energía, y los efectos en el transporte de productos.

En realidad, lo que efectivamente armoniza la celeridad económica con la calidad ambiental en cuanto al ámbito atmosférico es el conjunto de medidas que garanticen la sostenibilidad ambiental por medio de instrumentos legales y económicos más costo efectivos que empiecen a desligar los subproductos de la actividad industrial con el detrimento del medio ambiente.

Así mismo, Lim (1998) examina en Corea del Sur el efecto de la CAK. Con las políticas y regulaciones adecuadas, un aumento en la actividad económica no agudiza los problemas ambientales. Aunque algunos indicadores de calidad ambiental como emisiones de CO<sub>2</sub>, deforestación y gasto industrial han empeorado de manera constante con el aumento del PIB per cápita, otros como SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, TSP, BOD y gasto doméstico empeoran y después de un punto mejoran a medida que se amplía económicamente el país. Lo anterior soporta la hipótesis de la U invertida en donde el punto de inflexión se da aproximadamente (varía según indicadores) a principios de 1980. Esta fecha coincide cuando la regulación ambiental era muy estricta y efectiva. Con más estrictas regulaciones y políticas ambientales, las industrias privadas se vieron obligadas a gastar más recursos en la lucha contra la contaminación y las actividades de control. También con el aumento de los ingresos tras el crecimiento económico, la gente se volvió más consciente de los problemas ambientales y por lo tanto impulsaban a la autoridad coreana para hacer cumplir un mayor control. Lo anterior, entonces, tiende a sugerir que la gente conozca el problema y la aplicación de políticas e inversiones adecuadas son factores importantes en la lucha contra la degradación del medio ambiente.



### **Descripción exhaustiva del “leading paper”**

En primer lugar, Halkos (2006) identifica problemas econométricos de otros trabajos realizados sobre la materia. El autor argumenta que al realizar el proceso de identificar la CAK no es adecuado utilizar MCO (Mínimos Cuadrados Ordinarios) pues no estima con precisión los niveles de pico y no es una herramienta apropiada de análisis dado que muchos artículos que la utilizan no presentan estadísticas de diagnóstico de la regresión de los residuales. Otras metodologías usadas con datos transversales presentan falencias dado que arrojan heteroscedasticidad y problemas de normalidad.

Es entonces que el autor propone un análisis de datos de panel dinámico para 73 países de los cuales 23 pertenecen a la OECD; el periodo examinado es entre 1960 hasta 1990. De esta manera plantea una relación entre el PIB y la polución de emisiones de sulfuro. Emplea efectos fijos (FE) y aleatorios (RE), modelo de coeficientes aleatorios (RCR) y mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E), éste último para controlar efectos no observables.

En una segunda sección enuncia los trabajos de otros autores y sus contribuciones a las explicaciones de la existencia de la CAK. Entre algunas de ellas se encuentra que la economía pasa por una transición de agricultura limpia a industrias contaminantes a servicios limpios; cambios en la tecnología de producción; la exportación de industrias sucias a otros países menos desarrollados; y proponen que los roles de preferencias y de regulación influyen. Además sintetiza, en una tabla, algunos trabajos realizados con sulfuro, discriminados por autor, metodología, periodo de análisis, resultados (punto de inflexión) y datos usados. Todos estos difieren en gran medida.

Más adelante describe los métodos econométricos empleados. El modelo establecido presenta un intercepto de cada país y además otro intercepto de tiempo; las emisiones de sulfuro per cápita (toneladas) es la variable dependiente, mientras que el PIB per cápita es la independiente; a su vez tiene en cuenta el término de perturbación. Ambas variables dependiente e independiente están expresadas en logaritmos naturales.

Los métodos de datos de panel utilizados fueron los que a continuación se presentan:

- *Mismo intercepto y parámetro de pendiente para todos los países: equivalente a MCO.*
- *FE: cada país tiene diferente intercepto, en donde  $\alpha_i$  y  $\gamma_i$  son parámetros de regresión. Esta transformación supone promediar sobre el tiempo, es decir, los parámetros se eliminan.*
- *RE:  $\alpha_i$  y  $\gamma_i$  son componentes de disturbios aleatorios. Si los efectos están correlacionados con las variables explicadas, este modelo no se puede estimar correctamente.*
- *MC2E: los resultados fueron insignificantes.*
- *Modelos de coeficientes aleatorios (Modelo de Swamy-1970).*

La evidencia empírica demuestra que, usando RE y FE, hay certeza de la existencia de la CAK. Para cada grupo de países, el punto de inflexión (en US\$ 1990) es el siguiente:

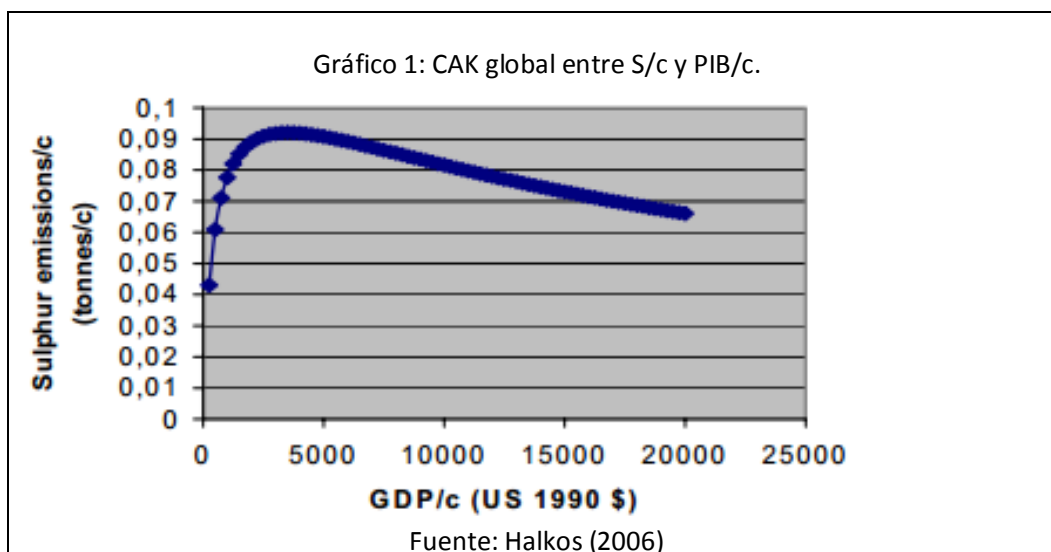
|                                | FE        | RE        |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| Totalidad de los países (73)   | \$123.571 | \$91.991  |
| Países que integran la OECD    | \$9.152   | \$9.166   |
| Países que no integran la OECD | \$501.936 | \$361.942 |

Tabla 1: Puntos de inflexión para cada grupo. Source: Halkos (2006)

El Test de Hausman muestra correlación entre el intercepto de país y el ingreso, para el modelo global. Por lo tanto RE no es viable.

Teniendo en cuenta los RCR con variaciones en las variables (usadas como niveles o como logaritmos), se identificó que no son estadísticamente significativos. El autor estima que este resultado se presenta porque hay mucha diferenciación entre los betas de cada país (parámetros heterogéneos).

Finalmente concluye que sí hay una presencia de U invertida entre la contaminación (medida en emisiones de sulfuro) y el desarrollo económico. Para cada metodología explica sus ejecuciones, de forma que en la RCR indica que no se puede establecer esta afirmación mientras que FE y RE prueban la CAK monotónica con altos puntos de inflexión. Lo mencionado se ilustra en la figura que el autor elabora:



Argumenta que la elevada pendiente, observada en la primera parte de la curva, se debe a políticas generadas. La subvaloración de los recursos naturales, subsidios a la energía, entre muchos otros son factores que degradan ambiental y económicamente a los países. Esta curva se puede aplanar por medio de la reducción e incluso eliminación de estas políticas que distorsionan el mercado. La solución que plantea es aplicar derechos de propiedad a los recursos naturales, internalizar los costos ambientales a las fuentes que lo generan, la demanda por tecnología de punta<sup>3</sup> (de economías desarrolladas) y la transferencia de conocimiento y know-how.

### 3. Metodología

Como se pudo observar, esta teoría ha sido ampliamente estudiada mediante diversas metodologías con diferentes modelos estimados y es en esta elección que se le da mayor soporte al estudio que se realiza. La propuesta en este trabajo es utilizar datos de panel. A pesar de que varios autores (ver Grossman y Krueger (1991)) han estimado el modelo por medio de MCO, se ha criticado esta metodología (ver Halkos (2006)) puesto que los estimadores eran inconsistentes, y algunos factores capturados por la perturbación estaban correlacionados con los regresores las cuales, a su vez, afectaban directamente a la variable predicha. La estimación del modelo por medio de datos longitudinales, introduce doble dimensionalidad pues combina los efectos temporales y de corte transversal, y permite concentrarse en los parámetros de pendiente para así enfocarse en probar la existencia de la CAK.

Específicamente se analiza los efectos fijos (FE) los cuales capturan la heterogeneidad de los efectos inobservables e invariantes en el tiempo ( $\alpha_i$ ) y los corrige por medio de la diferencia contra la media. El modelo de regresión de componentes de error de dos factores *-two way effects model*, es el desarrollado. De acuerdo a Baltagi (2001), el modelo permite controlar la heterogeneidad individual y acepta autocorrelación entre los regresores y los efectos individuales;

<sup>3</sup> Reconoce que existe el proceso de desulfuración por medio de tecnología avanzada.

así mismo controla factores que podrían causar sesgo de variable omitida o que no son medibles. Además se puede estimar el modelo incluso si las variables dependientes son endógenas.

Para saber si las estimaciones eran consistentes se realizaron pruebas de Hausman contra modelos de efectos aleatorios (RE). Este test permite analizar la correlación entre  $X_i$  y los términos de error, en donde la hipótesis nula es:

$$H_0: E[\alpha_i | X_{it}] = 0 \quad (2)$$

Dado que RE permite estimar todos los parámetros más eficientemente se escogerá si la hipótesis nula no se rechaza; por el contrario, FE es más robusto pero seguirá siendo consistente.

De esta manera, y acogiéndose a la literatura expuesta, se estableció un modelo general a estimar de la siguiente forma:

$$Y_{it} = \alpha_i + \mu_t + \beta_1 X_{it} + \beta_2 (X_{it})^2 + v_{it} \quad (3)$$

Donde  $Y$  representa la variable explicada que será el logaritmo natural de la emisión del gas per cápita, y la variable  $X$  es la variable explicativa que es el logaritmo natural del PIB per cápita<sup>4</sup>; se establecieron en logaritmos dado que es importante introducir no linealidades para describir la relación, además que el parámetro  $\beta$  será la elasticidad de  $Y$  respecto a  $X$  para cada país  $i$  en el tiempo  $t$ . Así mismo se incluyen variables como la población para ajustar el modelo de la misma manera que Halkos (2006).  $v$  es, como siempre, el término de error o la perturbación del modelo. Se añaden los efectos inobservables  $\alpha$  y  $\mu$  que representan, respectivamente, el efecto individual invariante en  $t$  y el efecto común a todos los países la cual captura impactos temporales o macroeconómicos.

En este trabajo se amplía el análisis considerando modelos de tres diferentes variables de respuesta que implican una degradación ambiental en el aire; los gases efecto invernadero (GEI), óxido de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO). El primero (fórmula 4) comprende efectos globales mientras los dos últimos (fórmula 5 y 6) tienen efectos locales y a menor plazo. Estas variables dependientes se escogieron precisamente para analizar si la teoría de la CAK actúa de igual manera en diferentes naturalezas de gases. A su vez, el desarrollo económico está representado por el Producto Interno Bruto de cada Nación.

$$\ln(GEI/pob)_{it} = \alpha_i + \mu_t + \beta_1 \ln(PIB/pob)_{it} + \beta_2 (\ln(PIB/pob))_{it}^2 + v_{it} \quad (4)$$

$$\ln(NOx/pob)_{it} = \alpha_i + \mu_t + \beta_1 \ln(PIB/pob)_{it} + \beta_2 (\ln(PIB/pob))_{it}^2 + v_{it} \quad (5)$$

$$\ln(CO/pob)_{it} = \alpha_i + \mu_t + \beta_1 \ln(PIB/pob)_{it} + \beta_2 (\ln(PIB/pob))_{it}^2 + v_{it} \quad (6)$$

<sup>4</sup> Para mayor detalle de las variables, ver anexos (tabla 3).

Dentro de lo pertinente en este trabajo es verificar la existencia de la CAK, por lo que es necesario determinar los signos de los parámetros. Los cuatro posibles escenarios se plantean a continuación.

| Escenarios          | $\beta_1$ | $\beta_2$ |
|---------------------|-----------|-----------|
| Existencia de CAK   | +         | -         |
| Inexistencia de CAK | -         | +         |
|                     | +         | +         |
|                     | -         | -         |

Tabla 2: Diferentes escenarios y su implicación en la teoría de la CAK

Si se observa la existencia de la CAK, es necesario pues calcular el punto máximo en el cual la curva cambia de pendiente. Para cada modelo estimado, el punto se calcula de la siguiente manera:

$$\omega = \exp(-\beta_1/2\beta_2) \quad (7)$$

En este punto las emisiones son las máximas. Dicho punto de inflexión será la referencia para la muestra en el cual la degradación ambiental se ve reducida paulatinamente.

## 4. Resultados

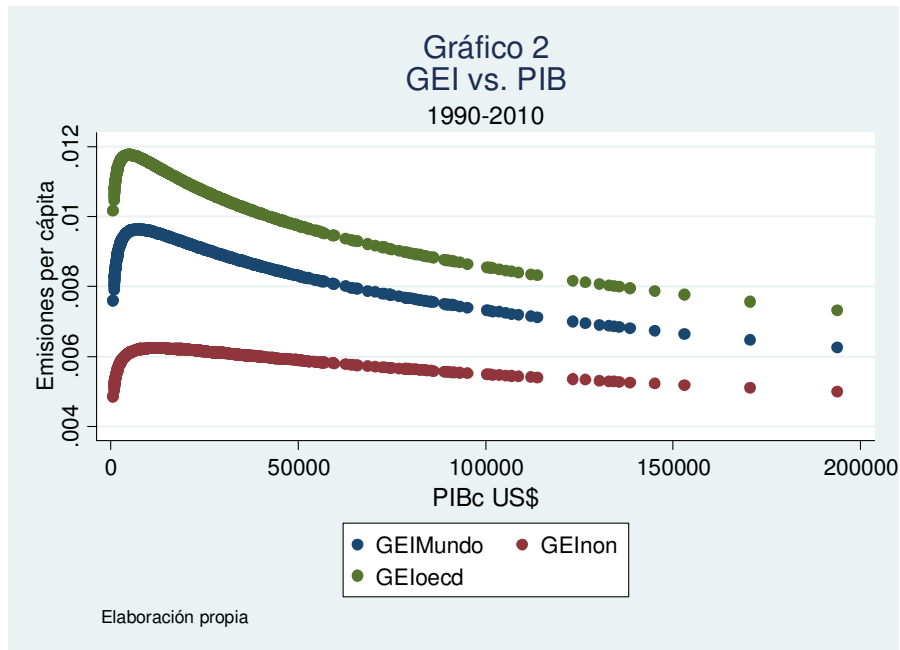
Por medio del programa STATA 11, se desarrolló el modelo de un panel balanceado entre los años 1990 a 2010 a países pertenecientes a la OECD (29 países) y a otros no pertenecientes (12 países)<sup>5</sup>. Las fuentes de los datos fueron internacionales y están descritas en la tabla 4 (ver anexo). Como menciona Halkos (2006), es mejor utilizar “emisiones en vez de concentraciones de cada gas debido a que este último depende de las emisiones y la locación geográfica y condiciones atmosféricas, entre otras.”

Los resultados obtenidos por efectos fijos (FE) y efectos aleatorios (RE), dados la estimación del modelo, se presentan en la tabla 5 y 6, respectivamente; éstos se discriminan, para cada gas, en tres muestras: “Mundo” que corresponde a la totalidad de los 42 países, “nonOECD” que son los países que no pertenecen a la OECD, y “OECD” los cuales sí la integran. A continuación se realiza el test de Hausman para descartar un modelo más eficiente con efectos aleatorios (RE); en algunos casos se rechaza la hipótesis nula de que no hay correlación, lo cual implica que la metodología a utilizar es la de FE. En la tabla 6 se presenta el modelo que mejor se ajusta a cada

<sup>5</sup> Ver Notas Finales para la lista completa de los países analizados.

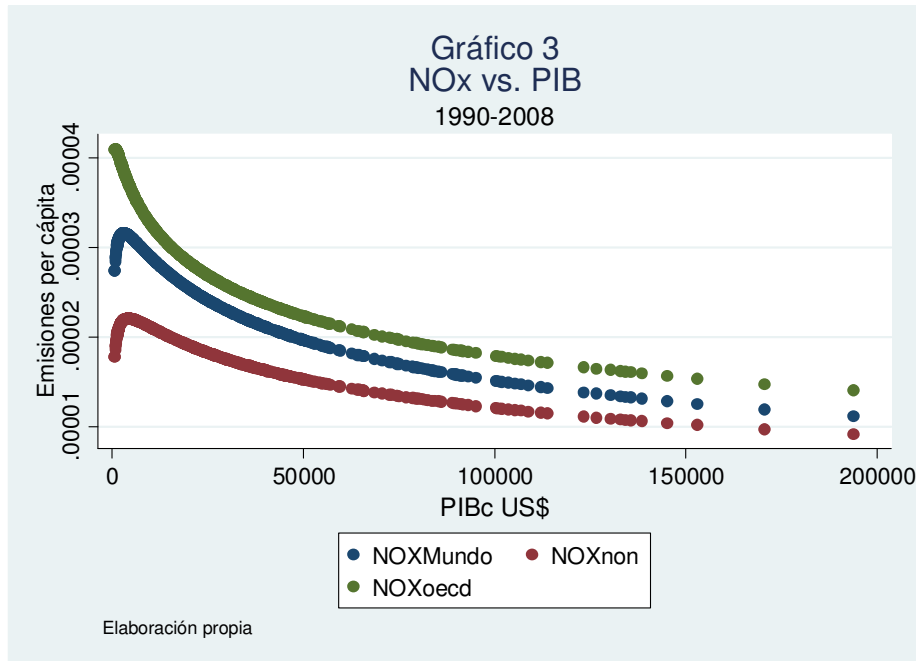
muestra. Además en cada modelo se rechaza<sup>6</sup> la hipótesis nula de que los coeficientes son iguales a cero lo que implica que son significantes e influyen en la variable dependiente.

Las siguientes gráficas ilustran los modelos de U invertida para cada variable dependiente analizada.

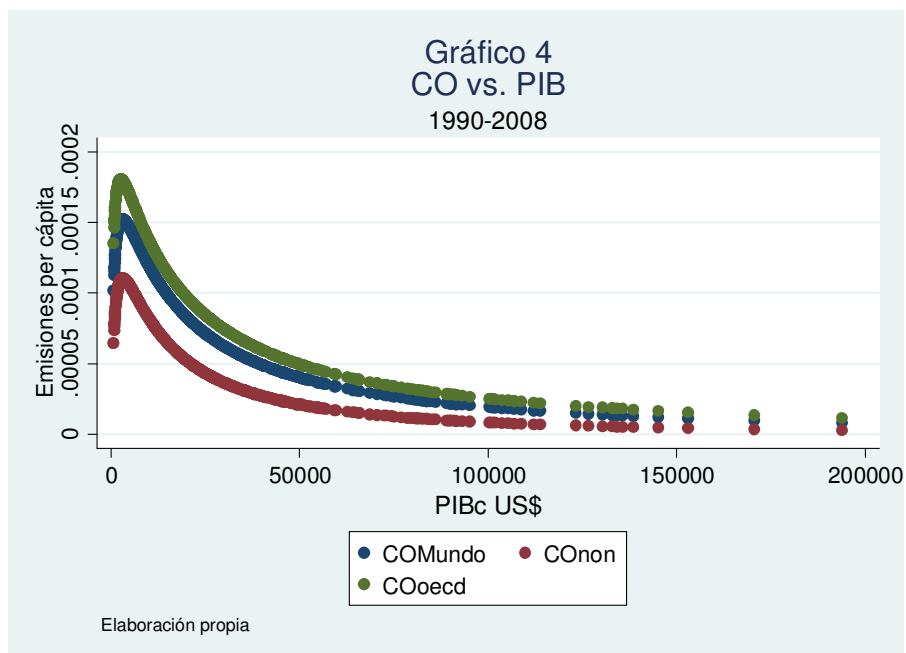


El presente gráfico 2 ilustra la relación de las emisiones de GEI per cápita contra el PIB per cápita. Las emisiones de los países pertenecientes a la OECD caen mucho más rápido que el resto de los países; aunque los niveles de los primeros sean más altos (generan mayores emisiones de Gases Efecto Invernadero). Estas curvas cóncavas son asimétricas positivas.

<sup>6</sup> En GEI-nonOECD al 10% de significancia, y a NOx-OECD al 15%.



El gráfico anterior presenta la estimación de la relación entre los tres grupos. Es interesante ver el comportamiento de la curva de los países OECD que no es muy clara dado que los coeficientes de este modelo fueron significativos al 15% (modelo más flexible). Sin embargo, las tres curvas exponen una conducta similar a la teoría planteada por Kuznets.



Para este último modelo estimado, las curvas de los grupos convergen aún más en comparación con los otros gases ya vistos. Además la pendiente es mucho más grande en el primer trazo de la curva, contrastada con los gráficos anteriores.

Dado la aceptación empírica de la Curva Ambiental de Kuznets en la emisión de gases locales y de origen global, ahora lo conveniente es comparar los puntos de inflexión. La siguiente tabla agrupa este punto en cada modelo.

| Punto Inflexión |         |              |
|-----------------|---------|--------------|
| GEI             | Mundo   | \$ 7,264.66  |
|                 | nonOECD | \$ 12,100.02 |
|                 | OECD    | \$ 4,898.20  |
| NOx             | Mundo   | \$ 2,966.47  |
|                 | nonOECD | \$ 4,199.83  |
|                 | OECD    | \$ 793.21    |
| CO              | Mundo   | \$ 2,991.74  |
|                 | nonOECD | \$ 3,088.90  |
|                 | OECD    | \$ 2,573.80  |

Tabla 3: Puntos de Inflexión calculados

De acuerdo a lo resumido en la tabla anterior se puede evidenciar que el punto de inflexión para el gas de efecto global (GEI) es mucho mayor que para los gases de efecto local (NOx y CO). Comparando entre grupos, el punto máximo se presenta en países no pertenecientes a la OECD (menos desarrollados). Se podría especular que si se añaden más observaciones de países menos industrializados, el punto de inflexión se movería hacia la derecha.

Finalmente, la teoría considerada por Kuznets se confirma dentro de la base de datos utilizada. Esto conlleva a que la emisión de gases per cápita (sin importar sus efectos locales o globales) está influenciada significativamente en el desarrollo económico per cápita. En una primera instancia, a medida que el país crece económicamente su degradación ambiental del aire (representada en emisiones de GEI, NOx y CO) también incrementa hasta llegar a un punto. Es aquí donde la naturaleza de los gases es esencial; aquellos que afectan de manera global y a largo plazo tienen un punto de inflexión más alto, es decir, se debe llegar a un PIB per cápita mayor para que el comportamiento de la degradación ambiental se reverse. En el caso de los gases Efecto Invernadero este valor es de \$7.264 para todos los países estudiados. A partir de este punto la curva cambia de sentido y la degradación ambiental se reduce a mayor crecimiento del PIB per cápita.

Ahora bien, teóricamente el comportamiento de la curva se explica en la medida en que los países menos desarrollados (menor PIB per cápita) normalmente no poseen tecnologías amigables con el medio ambiente y se especializa en la industria, los cuales históricamente registran mayores emisiones de gases contaminantes. Con el paso del tiempo, el país va creciendo económicamente



y con ello se especializa más en servicios, a la vez que las tecnologías se cambian a unas más limpias. De esta manera la polución se va reduciendo. No obstante, Dasgupta et al. (202) ofrece un planteamiento que tiene en cuenta el efecto de la globalización y la rapidez de la transferencia de nuevas tecnologías; este trabajo indica que los picos de degradación ambiental son más bajos en los países menos desarrollados de ahora que los de antes. La explicación teórica está resumida dentro de la figura 1 extraída de Hung y Shaw (2006).

Sin embargo hay unas limitaciones a considerar. En primer lugar se trabajó con datos nacionales disponibles públicamente, los cuales reducen la muestra y, en este caso, fue únicamente de países desarrollados. Para este caso el panel de grupo de países no pertenecientes al OECD es muy pequeño; no se pudo analizar los no desarrollados (países africanos) o en vías de serlo como los latinoamericanos. Este inconveniente está agudizado por la escasez de recursos y herramientas que disponen estos países para la recolección de datos nacionales. Así mismo se debe considerar la metodología que utilizan las fuentes primarias o entes supranacionales, puesto que es posible que no sean estandarizados para todos los países y los datos recolectados no reflejen lo mismo entre cada uno; esto llevaría a distorsiones por errores de medida.

## 5. Conclusiones

Analizando que los modelos para cada muestra están estimados y son consistentes, se observa que en todos se ve la CAK de acuerdo a que  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 < 0$ . De esta manera, se comprueba la existencia de la teoría ambiental de Kuznets. Los alcances del modelo detallan el efecto de usar variables dependientes de naturaleza diferente si bien hay una diferencia del punto de inflexión entre gases de efectos locales y globales. Para los primeros el punto de inflexión se ubica alrededor de los \$3.000, mientras que para los GEI está en \$7.300. La explicación a este fenómeno puede ser que los GEI están más relacionados a procesos industriales por la extracción de combustibles fósiles, los cuales son más difíciles de cambiar y llevan a una transición más lenta por parte de los países; mientras los locales están más enfocados a vehículos de transporte que depende de las tecnologías del mercado.

Los aportes del modelo dentro de esta línea de estudio se relacionan con una contribución empírica al actualizar los datos estudiados (y comprobar que la teoría permanece) y además de identificar diferencia de acuerdo a la naturaleza de la variable dependiente. Igualmente es importante para definir políticas ambientales como se describirán más adelante.

Algunas consideraciones sobre este estudio es la importancia de tener indicadores propiamente formulados. Hammond et al (1995) menciona que no hay indicadores claros para ayudar a evaluar tendencias ambientales. Estos indicadores llevarían a estudios como el de Kuznets a ser pertinentes y necesarios para la toma de decisiones a nivel nacional e internacional las cuales atraen la atención de políticas de alto alcance. Por ejemplo, sobre la pendiente de la curva, Halkos (2006) menciona que parte de la inclinación se da debido a distorsiones de política que son destructivos a nivel ambiental y económico. Menciona como ejemplos los subsidios (principalmente en el sector de la energía y agroquímicos) y la subvaloración del nivel de precios

de los recursos naturales. Es así que plantea que los gobiernos pueden aplanar la curva si se generan cambios en estas políticas destructivas.

Este trabajo incentiva a estimar modelos con otras variables observables que explican la degradación ambiental. Otros indicadores, aparte de la contaminación, como la disminución de la diversidad o el agotamiento de los recursos reflejan un daño ambiental y podrían ser valorados para establecer su relación con el crecimiento económico. Quizás tomar estas variables de respuesta puede ser objeto de estudio para otros trabajos. Además, como menciona Panayotou (2003), evaluar el impacto de variables exógenas en la relación de la CAK como comercio, libertades políticas, variables de políticas, etc. y demostrar empíricamente cómo afectan las políticas ambientales gubernamentales a esta teoría.

## Notas

**OECD:** Australia, Austria, Bélgica, Canadá, República Checa\*, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Estonia\*, Hungría\*, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Nueva Zelanda, Portugal, Polonia\*, España, Eslovaquia\*, Suecia, Suiza, Turquía, UK y USA.

\*Ingresaron a la OECD durante o después del tiempo observado en la muestra.

**Non-OECD:** Bielorrusia, Bulgaria, Croacia, Letonia, Lituania, Liechtenstein, Malta, Mónaco, Rumania, Rusia, Eslovenia y Ucrania.

## Anexos

| Variable                              | Unidades                 | Descripción   | Fuente   |
|---------------------------------------|--------------------------|---|--|
| <b>Gases Efecto invernadero (GEI)</b> | Gigagrams CO2 Equivalent | Emissions of Total GHG (CO2, CH4, N2O, HFCs, PFCs and SF6) (National Reports, UNFCCC), Including Land Use, Land-Use Change and Forestry | United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) |
| <b>Óxido de Nitrógeno (NOx)</b>       | Gigagrams                | Emissions of NOX - Total (National Reports, UNFCCC)   | United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) |
| <b>Monóxido de Carbono (CO)</b>       | Gigagrams                | Emissions of CO - Total (National Reports, UNFCCC)  | United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) |
| <b>Producto Interno Bruto (PIB)</b>   | Current US\$             |   | World Bank   |

Tabla 4: Descripción de variables y fuentes

|                | GEI                   |                      |                       | NOx                   |                       |                       | CO                     |                       |                       |
|----------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                | Mundo                 | nonOECD              | OECD                  | Mundo                 | nonOECD               | OECD                  | Mundo                  | nonOECD               | OECD                  |
| Y              | 0.7101543<br>(5.81)   | 0.5228329<br>(1.81)  | 0.594937<br>(3.95)    | 0.9515739<br>(4.30)   | 1.22201<br>(2.37)     | 0.473233<br>(1.46)    | 2.695152<br>(11.51)    | 3.414422<br>(6.06)    | 2.308449<br>(8.10)    |
| Y <sup>2</sup> | -0.0399377<br>(-5.97) | -0.273438<br>(-1.62) | -0.0350102<br>(-9.63) | -0.0595096<br>(-4.88) | -0.0741131<br>(-2.41) | -0.0354424<br>(-2.09) | -0.1683711<br>(-13.09) | -0.2126533<br>(-6.39) | -0.1469762<br>(-9.87) |
| No. Obs        | 861                   | 252                  | 609                   | 722                   | 190                   | 532                   | 740                    | 209                   | 531                   |
| Prob>f         | 0.000                 | 0.0383               | 0.000                 | 0.000                 | 0.056                 | 0.000                 | 0.0000                 | 0.000                 | 0.000                 |
| rho            | 0.9134561             | 0.7854011            | 0.94290955            | 0.87746685            | 0.43118361            | 0.91514285            | 0.94349104             | 0.9472539             | 0.94151308            |

Tabla 5: Resultados de la regresión por Efectos Fijos \*En paréntesis se ubican los t- estadísticos.

|                | GEI                   |                      |                     | NOx                   |                       |                       | CO                     |                      |                       |
|----------------|-----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
|                | Mundo                 | nonOECD              | OECD                | Mundo                 | nonOECD               | OECD                  | Mundo                  | nonOECD              | OECD                  |
| Y              | 0.7105118<br>(5.83)   | 0.5408618<br>(1.98)  | 0.5996844<br>(3.97) | 0.9885324<br>(4.49)   | 1.000849<br>(2.48)    | 0.5402527<br>(1.66)   | 2.733346<br>(11.66)    | 3.449365<br>(6.23)   | 2.351697<br>(8.18)    |
| Y <sup>2</sup> | -0.0396379<br>(-5.94) | -0.287663<br>(-1.80) | -0.03507<br>(-9.59) | -0.0609823<br>(-5.03) | -0.0599828<br>(-2.57) | -0.0387284<br>(-2.27) | -0.1700197<br>(-13.22) | -0.214631<br>(-6.58) | -0.1486669<br>(-9.89) |
| No. Obs        | 861                   | 252                  | 609                 | 722                   | 190                   | 532                   | 740                    | 209                  | 531                   |
| Prob>f         | 0.000                 | 0.044                | 0.000               | 0.000                 | 0.028                 | 0.000                 | 0.000                  | 0.000                | 0.000                 |
| rho            | 0.90399438            | 0.79551616           | 0.9342335           | 0.86505921            | 0.43682025            | 0.89088021            | 0.93425422             | 0.94543855           | 0.91959448            |

Tabla 6: Resultados de la regresión por Efectos Aleatorios \*En paréntesis se ubican los t- estadísticos.

| Hausman Test |         |        | Modelo Apropriado |
|--------------|---------|--------|-------------------|
| GEI          | Mundo   | 0.0112 | FE                |
|              | nonOECD | 0.6116 | RE                |
|              | OECD    | 0.0002 | FE                |
| NOx          | Mundo   | 0.0194 | FE                |
|              | nonOECD | 0.7478 | RE                |
|              | OECD    | 0.0061 | FE                |
| CO           | Mundo   | 0.0158 | FE                |
|              | nonOECD | 0.4799 | RE                |
|              | OECD    | 0.0021 | FE                |

Tabla 7: Test de Hausman y modelo apropiado a cada muestra

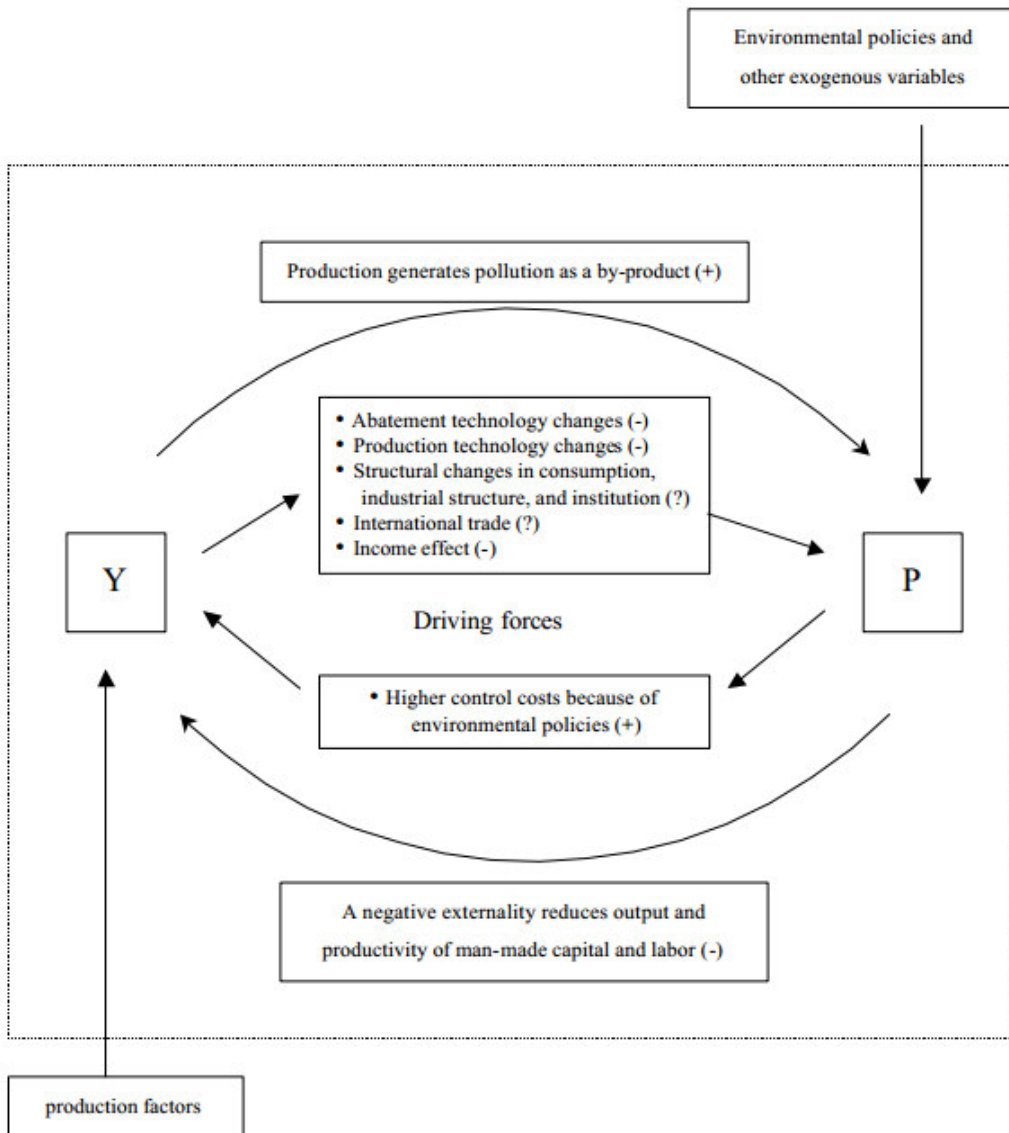


Figura 1: Relación entre ingreso y contaminación. Fuente: Hung y Shaw (2006)

## **Bibliografía**

- BALTAGI, Badi H. (2001) “Econometric Analysis of Panel Data”. John Wiley & Sons: 3rd Edition. Chp 1,2,3.
- COBACHO, Belén. BOSCH, Mariano (2010). “Contrastes de hipótesis en datos de panel”. Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas (ASEPUMA).<  
[http://www.uv.es/asepuma/XIII/comunica/comunica\\_19.pdf](http://www.uv.es/asepuma/XIII/comunica/comunica_19.pdf)>
- DASGUPTA, Susmita; LAPLANTE, Benoit; WANG, Hua; WHEELER, David. (2002) “Confronting the Environmental Kuznets Curve” Journal of Economic Perspectives— Volume 16, Number 1, Pages 147–168
- GROSSMAN, G. M. and Krueger A. B., (1995), “Economic growth and the environment”, Quarterly Journal of Economics, No. 110, pp. 353 – 78
- \*\*HALKOS, George E. (2006) “Economic development and environmental degradation: Testing the existence of an Environmental Kuznets Curve at regional level”. ERSA conference papers, European Regional Science Association.
- HAMMOND, Allen. Albert Adriaanse, Eric Rodenburg, Dirk Bryant and Richard Woodward. (1995) “Environmental indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development”. World Resources Institute (WRI).
- HUNG, Ming. SHAW, Daigee. (2006) “Economic Growth and the Environmental Kuznets Curve in Taiwan: A Simultaneity Model Analysis”.
- KOCHI, Ikuho. MEDINA, Patricia Cecilia (2013). “Más allá de la curva ambiental de Kuznets: comprensión de los determinantes de la degradación ambiental en México”. Nóesis: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades: Universidad autónoma de Ciudad Juárez. Vol 22, No. 43.
- KUZNETS, Simon, (1955), “Economic Growth and Income Inequality”, American Economic Review, No. 45, pp. 1-28.

LIM, Jaekyu .(1998) “Economic Growth and Environment: Some Empirical Evidences from South Korea”. School of Economics, University of New South Wales

M.A. COLE, A.J. RAYNER y J.M. BATES (1997). “The environmental Kuznets curve: an empirical Analysis”. *Environment and Development Economics*, 2, pp 401-416

PANAYOTOU, Theodore, (2003), “Economic Growth and the environment”, Harvard University and Cyprus International Institute of Management, Paper prepared for and presented at the Spring Seminar of the United Nations Economic Commission for Europe, Geneva.

PARRILLA, Javier Capó. (2009) “Curva de Kuznets ambiental: Evidencia para Europa”. CRE Working Papers (Documents de treball del CRE) 2009/3, Centre de Recerca Econòmica (UIB ·"Sa Nostra").

STERN, D.I. (2004), “The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve”, *World Development* 32(8): 1419–1439

TORRES-REYNA, Oscar. “Panel Data Analysis: Fixed & Random Effects (using Stata 10.x)”. Princeton University.<<http://dss.princeton.edu/training/Panel101.pdf>>

TSURUMI, Tetsuya; MANAGI, Shunsuke(2010) “Decomposition of the environmental Kuznets curve: scale, technique, and composition effects”. *Environmental Economics and Policy Studies* 11: 19–36

\*\*Leading paper