

**DESARROLLO ECONÓMICO Y GENERACIÓN DE
DIÓXIDO DE CARBONO, UN ANÁLISIS ECONOMÉTRICO**

CRISTIAN OVIEDO GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y ECONOMICAS
PROGRAMA DE ECONOMIA
SANTIAGO DE CALI**

2011

**DESARROLLO ECONÓMICO Y GENERACIÓN DE
DIÓXIDO DE CARBONO, UN ANÁLISIS ECONOMÉTRICO**

CRISTIAN OVIEDO GONZÁLEZ

**Trabajo de grado para optar al título de
Economista**

Director

JHON ALEXANDER MÉNDEZ

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y ECONOMICAS
PROGRAMA DE ECONOMIA
SANTIAGO DE CALI**

2011

CONTENIDO

	PAGINA
INTRODUCCIÓN	9
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1 MARCO DE LA ECONOMÍA AMBIENTAL	14
2.2 PRIMERAS ESTIMACIONES DE LA EKC	14
2.3 EL PUNTO DE VISTA DE SHAFIK: EL PAPEL DEL ALCANCE DE LOS CONTAMINANTES	17
2.4 EL PAPEL DE LA DESIGUALDAD: EL PROBLEMA DEL	

SESGO DE AGREGACIÓN.	18
2.5 ESTIMACIONES PARA COLOMBIA.	20
3. ANTECEDENTES TEÓRICOS	21
3.1 EL PAPEL DE LAS PREFERENCIAS Y LA TECNOLOGÍA	21
3.2 EL MODELO DE ANDREONI Y LEVINSON	22
3.3 LA HETEROGENEIDAD DE INGRESOS	25
3.4 ECUACIÓN EN FORMA REDUCIDA CON DESIGUALDAD.	27
4 MARCO ECONÓMICO	29
4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO	29
4.1.1 LISTA DE VARIABLES (MUESTRA PARA 126 PAÍSES ENTRE 1990 Y 2006).	29

4.2 LA SITUACIÓN PARA COLOMBIA	32
4.3 VENTAJAS DE UNA ESTIMACIÓN ANIDADA DE DATOS PANEL VS UNA AGRUPADA	36
5 RESULTADOS	38
6 CONCLUSIONES Y REFLEXIÓN FINAL	47
6.1 CONCLUSIONES	47
6.2 REFLEXIÓN FINAL	48
7. REFERENCIAS	50

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

	PAGINA
FIGURA 1. INGRESOS PER CAPITA Y DAÑO AMBIENTAL	26
TABLA 1. COEFICIENTES ESPERADOS DE LAS VARIABLES EXPLICATIVAS	28
TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE CO2	30
TABLA 3. DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE INGRESO P.C.	30
TABLA 4. DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE GINI	31
TABLA 5. FRECUENCIAS ABSOLUTAS CRUZADAS DE LAS VARIABLES CO2 Y GDP	34

TABLA 6. FRECUENCIAS RELATIVAS CRUZADAS DE LAS VARIABLES CO2 Y GDP	34
FIGURA 5. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN	35
TABLA 7. SALIDA DE LA ESTIMACIÓN AGRUPADA	38
FIGURA 6. ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CO2 POR MCO(POOLED)	39
TABLA 8. PRUEBA DE BREUSCH PAGAN	40
TABLA 9. SALIDA DE LA ESTIMACIÓN POR MÉTODOS DE DATOS PANEL	41
TABLA 10. PRUEBA DE HAUSMAN SOBRE LAS ESTIMACIONES DE EA Y EF.	42
TABLA 11. SALIDA DE LA ESTIMACIÓN POR MÉTODO DE EFECTOS FIJOS	43

TABLA 12. ALGUNOS EFECTOS FIJOS 43

**FIGURA 7. ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CO2 POR
EFECTOS FIJOS 45**

**TABLA 13. ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES DE DIÓXIDO DE CARBONO
ASOCIADOS AL PUNTO DE INFLEXIÓN. 46**

INTRODUCCIÓN

Durante el año de 1987, en el informe *OurCommonFuture* de la WCED (Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo) se presentó una de las más reconocidas y tempranas definiciones del concepto de desarrollo sostenible, esta establece que “es aquel desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. Es en el marco del desarrollo sostenible, sobre el cual se presenta este trabajo de grado; con el objetivo de hacer un aporte significativo a la ciencia a partir del método de la Economía Ambiental.

Uno de los más importantes debates que se sostiene entre los economistas que trabajan en el marco de la Economía Ambiental en relación con la búsqueda del desarrollo sostenible es el del desarrollo económico y sus efectos sobre la degradación ambiental. *Panayotou (1993)* le dio el nombre de Curva de Kuznets ambiental, o EKC por sus siglas en inglés, a esta relación; La curva de Kuznets, planteada por *Kuznets (1955)*, describía una relación entre desigualdad y crecimiento económico en forma de U invertida. La hipótesis de la curva de Kuznets ambiental (EKC) nos plantea que la degradación del medio ambiente es un producto inevitable del crecimiento económico en etapas de desarrollo bajas, sin embargo, al llegar al punto crítico que marca la transición de una sociedad con crecimiento económico intenso a una con un alto nivel de desarrollo, el crecimiento económico provoca mejoras ambientales. Así, una gráfica de tal relación, que tuviese al desarrollo económico en el eje x y la degradación ambiental en el eje y, si se cumpliera la hipótesis de la EKC, presentaría una forma de U invertida.

Es posible entonces decir que si la relación entre desarrollo económico y degradación ambiental estuviese correctamente especificada por la EKC, la

manera más viable de alcanzar la meta del desarrollo sostenible sería impulsar el crecimiento económico.

En el desarrollo de este trabajo de grado se presentan los resultados de la prueba de la EKC para un contaminante que tiene efectos sobre la salud del medio ambiente y la salud humana (Dióxido de Carbono). Ello con el fin de hacer un aporte significativo al planteamiento de políticas económicas que tengan como propósito alcanzar la senda del desarrollo sostenible.

La literatura de investigaciones enfocadas en el contraste de las hipótesis de que tanto el crecimiento del producto como la distribución del mismo tienen efectos sobre el nivel de contaminantes dispersos en el ambiente goza de un amplio espectro, tanto en número como en enfoques de investigación. El origen de estas investigaciones se da desde el principio de los años noventa, pero no es hasta el trabajo de *Heerink (2001)* que se prueba la existencia de un sesgo de agregación, desacreditando mucha de la evidencia encontrada hasta entonces. A partir de la última década numerosos trabajos contribuyen a aumentar el volumen de bibliografía propuesto al respecto pero al no tener en cuenta el problema de sesgo de agregación lineal, las investigaciones pierden validez.

Esta investigación está pensada con el propósito de mitigar el problema generado por el sesgo de agregación, de manera que se puedan obtener estimadores correctos de los efectos del crecimiento del producto sobre el nivel de contaminación.

“La hipótesis de la EKC, si se cumple, lleva a concluir que la mejor política ambiental es en realidad aquella que promueva el crecimiento económico”, *Arrow (1995)*. La justificación de la investigación es entonces determinar si los problemas ambientales tienen solución de manera indirecta a través del crecimiento del producto o, si acaso este no es suficiente para alcanzar la senda del crecimiento sostenible.

El objetivo principal de este trabajo es entonces generar evidencia empírica que sustente la hipótesis de la EKC. Para esto se propone entonces generar un modelo econométrico que contraste la existencia de la relación.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La política ambiental, tal como lo exponen *Field y Azqueta (1996)*, al enfocarse en la generación de incentivos económicos en los agentes con el objetivo de generar en estos comportamientos ambientalmente responsables, no solo tiene efectos sobre el medio ambiente sino también sobre la economía. Ya que estas pueden llegar a tener efectos nocivos en materia de crecimiento económico, el papel del investigador en economía ambiental no es tan solo diseñar políticas en búsqueda de mejores resultados ambientales, sino que al mismo tiempo la actividad económica no se vea gravemente afectada por sus recomendaciones.

El propósito de esta investigación es contrastar la hipótesis de que el crecimiento económico genera los incentivos económicos suficientes para dar origen a comportamientos productivos y de consumo responsables con el medio ambiente. En materia de política económica *Panayatou (1993)*, citado en *Gergel (2004)* escribe que *“El crecimiento económico parece ser una poderosa manera de mejorar la calidad ambiental...(esto sugiere) que el ambiente no necesita atención en particular, ni en términos de política ambiental doméstica, ni en presión o asistencia internacional; los recursos pueden ser mejor enfocados en lograr rápido crecimiento económico”*.

Sin embargo no sería correcto tomar las palabras expresadas en el anterior párrafo al pie de la letra de manera que se entienda que el crecimiento económico es suficiente para alcanzar el objetivo de mantener bajos niveles de contaminación; sino que, aunque es necesario, es tan solo un requisito para aplicar políticas más efectivas. Ya que la estimación de la Curva de Kuznets Ambiental se reconoce como una relación empírica (estimación de una ecuación en forma reducida) es decir, que difiere en comparación con una ecuación

estructural en su incapacidad de identificar la causalidad de la relación, a ella se le escapan las verdaderas fuerzas que ejercen en la relación contaminación-ingreso. Por lo tanto su existencia no es prueba de que el crecimiento económico es por si mismo fuente de mejoras ambientales, sino un paso necesario en la consolidación de maneras más responsables de relacionar el proceso productivo con el medio ambiente.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco de la economía ambiental.

La hipótesis de la EKC, dado que está enmarcada en la relación del medio ambiente como receptor de residuos, y la economía como generador de estos, guarda una estrecha relación con el marco de estudio de la Economía Ambiental.

Uno de los precursores de lo que hoy se conoce como Economía Ambiental fue el profesor A. Pigou. En su obra *Income* (1946), resalta la existencia de economías externas que se presentan en forma de males “...cuando una fábrica emite una gran cantidad de humo negro, el daño hecho a la comodidad de sus vecinos...son parte del costo generado en la producción del producto de la empresa. Pero los dueños de la fábrica no se ven obligados a pagar esos costos”. Es la existencia de estos fenómenos económicos, en relaciones económicas que involucran al medio ambiente como receptor de contaminantes, lo que da origen a la disciplina conocida como Economía Ambiental. Según *Labandeira (2007)* “La economía ambiental trataría temas relacionados con la función del medio ambiente como receptor y asimilador de residuos, es decir, como sustentador de ciertos procesos bióticos y abióticos de recuperación y regeneración de subproductos derivados de los procesos de producción y consumo”.

2.2 Primeras estimaciones de la EKC.

A partir de la década de los noventa, el número de trabajos econométricos que buscan probar la existencia de la curva de Kuznets ambiental prolifera gracias al uso de bases de datos que involucran variables ambientales. Los puntos de vista a partir de los cuales los autores abordan el problema tienden a ser disímiles en cuanto a las razones a las cuales adjudican la forma de la EKC. Mientras unos autores otorgan un importante papel al cambio tecnológico, otros hacen particular énfasis en el cambio en la estructura de preferencias de consumo de los individuos.

El modelo econométrico usado primordialmente toma la siguiente forma:

$$E = \beta_0 + \beta_1 * Y_{it} + \beta_2 * Y_{it}^2 + u_{it} \quad (1)$$

Esta ecuación en forma reducida consta de una variable dependiente E que mide la calidad ambiental (agua, aire, etc.). Debe tenerse en cuenta que entre mayor sea la variable E , peor es la condición ambiental. El subíndice it indica que corresponde a la estación de monitoreo i y fue tomada en el momento t . La variable independiente Y representa el producto interno bruto per cápita para el país donde se ubica la estación de monitoreo. Se adjunta el ingreso al cuadrado con el objeto de simular la forma cuadrática de la EKC. El signo esperado del coeficiente de Y es positivo dado que la EKC consta de una forma creciente con el ingreso hasta el punto de inflexión; el signo esperado del coeficiente del ingreso per cápita al cuadrado es negativo. Se considera ecuación en forma reducida porque consta de variables exógenas como el PIB per cápita y su respectivo cuadrado. La estimación de la ecuación en forma reducida, según *Grossman y Krueger (1995)*, posee ventajas sobre la estimación de la ecuación estructural, cuyas variables dependientes serían el estado de la tecnología o la regulación de la contaminación, ya que éstas últimas no siempre están disponibles y además son de validez cuestionable. Una limitación de la forma reducida, sin embargo, es que no es claro porque la relación estimada entre contaminación e ingreso existe.

El trabajo de *Grossman y Krueger (1995)* da un papel preponderante al avance de la tecnología como consecuencia del desarrollo económico. Según los autores, *“si la composición del producto (bienes y contaminación) y los métodos de producción se mantuvieran inmutables el daño al ambiente estaría ligado a la escala de actividad económica global. La evidencia sugiere que el desarrollo da origen a una transformación estructural en lo que la economía produce”*. Así, a medida que el nivel de actividad económica aumenta, la sociedad transforma significativamente sus sendas de consumo; pasando del consumo de bienes con altos requerimientos de contaminación a bajos.

Para probar tales hipótesis, los autores usan los datos conocidos como GEMS (Global Environmental Monitoring Systems) provistos por la Organización Mundial de la Salud. En esta base se encuentran datos correspondientes a la emisión de Dióxido de azufre (SO₂), Total de Partículas Suspendidas (TPS), Contaminación en ríos por Mercurio, entre otros; para un total de 28 países en 1977, 52 ciudades en 32 países en 1982 y 27 ciudades en 14 países en 1988. Lo que da origen a un panel no balanceado.

Además del ingreso per cápita, los autores toman como variables independientes el ingreso al cuadrado y al cubo, el promedio del ingreso per cápita los 3 años anteriores al año en que se toma la muestra y por último variables binarias que indican características propias de la ciudad donde se ubica la estación de monitoreo. La estimación de los parámetros de la ecuación (1) por medio del método de efectos aleatorios, incluyendo las variables mencionadas anteriormente, genera los siguientes resultados: para los contaminantes tenidos en cuenta se cumple la hipótesis de la EKC; el punto de inflexión se encuentra cerca a los US\$8.000 (1985). Se encontró entonces poca evidencia de que el crecimiento económico generará un empeoramiento continuo de la calidad ambiental.

Selden y Song (1994), mediante el uso del modelo de crecimiento económico y de contaminación de Foster, identifican dos razones clave para la existencia de la curva de Kuznets ambiental. En primer lugar, suponen que para las familias la utilidad marginal del consumo decrece a medida que se alcanzan mayores niveles de consumo mientras que la utilidad marginal de la calidad ambiental aumenta. Este fenómeno se complementa con el aumento en la efectividad del abatimiento como resultado del crecimiento. Entonces, así como la capacidad de carga del medio ambiente decrece, así mismo debe aumentar el nivel de esfuerzo encaminado a la protección del medio ambiente.

La estimación de la ecuación en forma reducida es consistente con los resultados encontrados por *Grossman y Krueger (1995)*. Para los contaminantes que se dispersan en el aire, tales como el Dióxido de Azufre y el Óxido de Nitrógeno, y el ingreso per cápita, se encuentra una relación de U invertida. Ya que ambas variables afectan la calidad del aire urbano, el modelo de Foster seguido por los autores, indica que mayores esfuerzos se realizarán en búsqueda de mejorar la calidad del aire urbano ya que la utilidad marginal de este bien ambiental se incrementa. Además, a partir de los resultados los autores suponen que a mayor nivel de ingresos las empresas se ubican en zonas alejadas de los centros urbanos, mejorando sustancialmente la calidad del aire urbano.

2.3 El punto de vista de Shafik: el papel del alcance de los contaminantes.

Según Shafik (1994) los costos del abatimiento, en cuanto a monto, al igual que el alcance del daño, cumplen un papel importante en la relación de ingreso y contaminación propuesta. El monto de los costos de abatimiento son todos aquellos costos en los cuales la sociedad incurre en procura de la mejora de la

calidad ambiental, mientras que el alcance de los daños se refiere a los individuos que se ven perjudicados por la contaminación.

Según los autores, para aquellos contaminantes cuyos costos son asumidos por la sociedad y los costos de abatimiento son bajos, la hipótesis de U invertida en la relación de contaminación e ingreso se cumple, pero para contaminantes cuyos costos son de largo alcance y asumidos por otros, la contaminación crece de manera permanente con el ingreso. *“Los resultados econométricos presentados aquí parecen indicar que la mayoría de sociedades eligen adoptar políticas y hacer inversiones que reducen el daño ambiental asociado con el crecimiento. Se tiende a tomar medidas donde hay costos locales generalizados e importantes beneficios privados y sociales. Donde los costos de la degradación ambiental son asumidos por otros (por los pobres o por otros países) existen pocos incentivos para alterar la conducta dañina” Shafik (1994).*

Así, para contaminantes de corto alcance como Dióxido de Azufre, según los resultados de la regresión en el trabajo de los autores, se cumple la hipótesis de la EKC, mientras que para contaminantes de mayor alcance como emisiones de Carbono la relación de U invertida es inexistente. Se prueba el punto de vista del autor de que las mejoras ambientales no son automáticas al crecimiento, sino que son producto del compromiso de las autoridades ambientales a través de políticas de emisiones más estrictas y mayores inversiones.

2.4 El papel de la desigualdad: El problema del sesgo de agregación.

El papel de la desigualdad del ingreso en la EKC cobra particular importancia para el trabajo de *Magnani (2000)*. Desde el punto de vista de la autora, enfocado en una cuestión de economía política: *“Entre mayor desigualdad del ingreso, menor el ingreso relativo del votante mediano, y más estará dispuesto éste a gastar en*

consumo de un bien privado en vez de financiar gasto público enfocado al cuidado del medio ambiente para el disfrute del bien público puro (amenidades ambientales)”. Así, a la ecuación (1) la autora agrega como variable independiente una que mide la desigualdad del ingreso del país.

El signo esperado para el coeficiente de la variable desigualdad es positivo, dado que a mayor desigualdad menor es la disponibilidad a contribuir con los costos de abatimiento. Sin embargo, los resultados econométricos arrojan un coeficiente negativo, indicando que a mayor desigualdad, menor es el daño ambiental. Tales resultados, son opuestos a los obtenidos por *Boyce (1994)*, cuyo modelo predice que una más equitativa distribución del ingreso mejora la calidad ambiental. De manera aclaratoria, *Heerink(2001)* demuestra la existencia de un sesgo de agregación en las curvas de Kuznets ambientales. Tal sesgo se presenta cuando, al realizar la regresión de la ecuación en forma reducida de la variable que mide la calidad ambiental en contra del ingreso y el ingreso per cápita al cuadrado, el ingreso que se toma es el ingreso medio de la sociedad esperando que el daño ambiental que le corresponda a este nivel de ingreso sea igual al daño ambiental medio. Pero, esto no es necesariamente cierto, es más, el daño ambiental medio, si la forma funcional de la EKC es estrictamente convexa, siempre será menor al correspondiente al del ingreso medio; por lo tanto existe un sesgo de agregación captado por la variable que mide la desigualdad del ingreso.

Al realizar la regresión de la ecuación en forma reducida incluyendo como factor regresor la variable GINI, la cual toma valores más altos en cuanto más desigual es la distribución del ingreso, se obtiene que el signo del coeficiente estimado para esta variable es negativo, de manera similar a los resultados obtenidos por *Magnani (2000)*. Al respecto, escribe: *“Debido a las no-linearidades en la relación entre presión ambiental e ingreso en un nivel micro, las estimaciones deberían incluir una medida de dispersión del ingreso para evitar estimadores sesgados de la EKC y puntos de inflexión” Heerink (2001)*. Tal como lo expresa el autor, es

necesario entonces incluir una medida de desigualdad ya que si no se hace se cae en un problema de omisión de variable relevante.

2.5 Estimaciones para Colombia.

Según el trabajo de *Correa, Vasco y Pérez (2005)*, que contrasta la existencia de la forma de U invertida para las emisiones de Dióxido de Azufre SO₂, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Dióxido de Carbono (CO₂) para Colombia. El país aún se encuentra en la fase creciente de la curva de Kuznets ambiental, lo que indica que el crecimiento económico se verá reflejado en mayor deterioro ambiental. En la regresión del indicador ambiental SO₂ el coeficiente estimado de la variable GINI es significativa a un 5%, y tiene un signo negativo, igual a lo esperado por los autores, quienes consideran que, entre mayor sea la desigualdad del ingreso, mayor será el grado de conciencia ambiental de las élites económicas. Este punto de vista es contrario al planteamiento de *Magnani (2000)* y *Boyce (1994)*. Tanto la variable GINI como la variable FREEDOM, que mide el grado de libertad política, no son significativas en las regresiones de la ecuación en forma reducida para las variables CO₂ y DBO.

En conclusión, la literatura de trabajos econométricos propuestos con el propósito de contrastar la hipótesis de la EKC goza de una amplia gama de puntos de vista y resultados. Sin embargo, al no tener en cuenta el papel de la desigualdad, muchos trabajos pierden validez. Plantear el problema del contraste empírico de la EKC teniendo en cuenta la distribución del ingreso da origen a otro problema: el sesgo de agregación. Sin embargo, con el propósito de plantear mejores propuestas de política ambiental es necesario enfrentarse a estos problemas y así obtener la mejor información disponible.

3. ANTECEDENTES TEÓRICOS

3.1 El papel de las preferencias y la tecnología.

La hipótesis de la EKC, se puede resumir de la siguiente manera: El gasto en reducción de la contaminación es cero hasta que *“el desarrollo ha creado suficiente consumo y suficiente daño ambiental para ameritar gasto en reducción”* (Selden y Song 1995 p. 164). Al respecto el trabajo de Selden y Song (1995), basado en el modelo de crecimiento y contaminación de Foster (1973) hace énfasis en dos puntos.

- Cambio a nivel de preferencias.

Una rápida caída de la utilidad marginal del consumo y un aumento rápido del nivel de preocupación por los niveles de contaminación provocan en los individuos un cambio en la estructura de consumo, pasando de bienes manufacturados y generadores de residuos a pagos por servicios ambientales. En ese orden de ideas el modelo de Brannlund y Ghalwash (2008) considera con respecto a la EKC que *“la curvatura no solo depende de la relación entre consumo y contaminación, sino que también en como el consumo es afectado por un cambio en el ingreso”* (pp. 372). Este punto de vista considera que la elasticidad de la demanda por bienes ambientales no es constante, sino más bien que cambia con el nivel de ingreso.

- Cambios estructurales en la tecnología.

En este rango se resumen todos aquellos grandes efectos directos del crecimiento sobre la eficiencia de la tecnología de reducción de la contaminación. Tal como lo explican Brannlund y Ghalwash (2008) la curvatura de la EKC depende en parte

de la relación entre consumo y contaminación, es decir, de la generación de contaminantes por unidad de producción de un bien en particular. La hipótesis que Selden y Song sostienen es que, a medida que el desarrollo económico alcanza niveles más altos, las unidades de producción requieren menor generación de contaminantes por unidad de producción, gracias en parte a los nuevos conocimientos adquiridos gracias a la inversión en investigación y desarrollo.

3.2 El modelo de Andreoni y Levinson.

El propósito de este modelo es el de representar la relación entre la contaminación y el producto (PIR); a partir de una función de utilidad y una de reducción de contaminación se obtiene que la concavidad de la relación depende en parte de la restricción tecnológica que resume la eficiencia de las tecnologías de abatimiento.

Supóngase una función de utilidad definida como:

$$U = c - Z$$

Donde c expresa el nivel de consumo y Z la contaminación asociada a este.

La contaminación está definida como

$$Z = c - c^\beta a^\zeta$$

Donde a es esfuerzos en la reducción y $c^\beta a^\zeta$ denota reducción de la contaminación. La restricción de recursos es $c + a = y$ y el problema de optimización es:

$$\max_{c,a} c - Z \quad \text{donde } Z = c - c^\beta a^\zeta$$

Se convierte en:

$$\max_{c,a} c - (c - c^\beta a^\zeta)$$

Simplificando,

$$\begin{aligned} \max_{c,a} c^\beta a^\zeta \\ \text{s. a. } c + a = y \quad (2) \end{aligned}$$

Se plantea entonces el problema a través de una maximización por el método del multiplicador de Lagrange con el fin de hallar los valores de c y a que maximizan la función de utilidad.

$$\mathcal{L} = c^\beta a^\zeta - \lambda(y - c - a)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial c} = \beta c^{\beta-1} a^\zeta - \lambda = 0$$

$$\beta c^{\beta-1} a^\zeta = \lambda \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial a} = \zeta c^\beta a^{\zeta-1} - \lambda = 0$$

$$\zeta c^\beta a^{\zeta-1} = \lambda \quad (4)$$

A partir de (3) y (4) se deduce que:

$$a = \zeta c / \beta$$

Sabiendo de (2) que $c + a = y$:

$$c = \frac{\beta y}{(\beta + \zeta)} \quad (5)$$

$$a = \frac{\zeta y}{(\beta + \zeta)} \quad (6)$$

Entonces la relación ingreso contaminación está definida como.

$$Z(y) = c(y) - [c(y)]^\beta [a(y)]^\zeta \quad (5)$$

Donde $c(y) = \frac{\beta y}{\beta + \zeta}$, $a(y) = \frac{\zeta y}{\beta + \zeta}$.

$$Z(y) = \frac{\beta y}{\beta + \zeta} - \left[\frac{\beta y}{\beta + \zeta} \right]^\beta \left[\frac{\zeta y}{\beta + \zeta} \right]^\zeta \quad (6)$$

$$Z(y) = \frac{\beta}{\beta + \zeta} * y - \left[\frac{\beta}{\beta + \zeta} \right]^\beta \left[\frac{\zeta}{\beta + \zeta} \right]^\zeta * y^{\beta + \zeta}$$

Obsérvese que:

$$\frac{\partial Z(y)}{\partial y} = \frac{\beta}{\beta + \zeta} - (\beta + \zeta) \left[\frac{\beta}{\beta + \zeta} \right]^\beta \left[\frac{\zeta}{\beta + \zeta} \right]^\zeta * y^{\beta + \zeta - 1} \quad (7)$$

Note que si $\beta + \zeta = 1$, la relación ingreso contaminación es una línea recta con pendiente positiva:

$$\frac{\partial Z(y)}{\partial y} = \beta - \beta^\beta \zeta^\zeta > 0 \quad (8)$$

Por otra parte,

$$\frac{\partial^2 Z(y)}{\partial y^2} = -(\beta + \zeta - 1)(\beta + \zeta) \left[\frac{\beta}{\beta + \zeta} \right]^\beta \left[\frac{\zeta}{\beta + \zeta} \right]^\zeta * y^{\beta + \zeta - 2}$$

Obsérvese que para $\beta + \zeta > 1$ la relación ingreso contaminación tiene forma de U invertida, porque $\frac{\partial^2 Z(y)}{\partial y^2} < 0$, así que la función es cóncava.

El cumplimiento de la restricción $\beta + \zeta > 1$ dependerá de la relación entre el consumo y los esfuerzos de abatimiento. Es decir, pensando en la función $c^\beta a^\zeta$ en términos de una función de producción, si la restricción se cumple entonces existen rendimientos crecientes a escala en la eficiencia de las tecnologías de

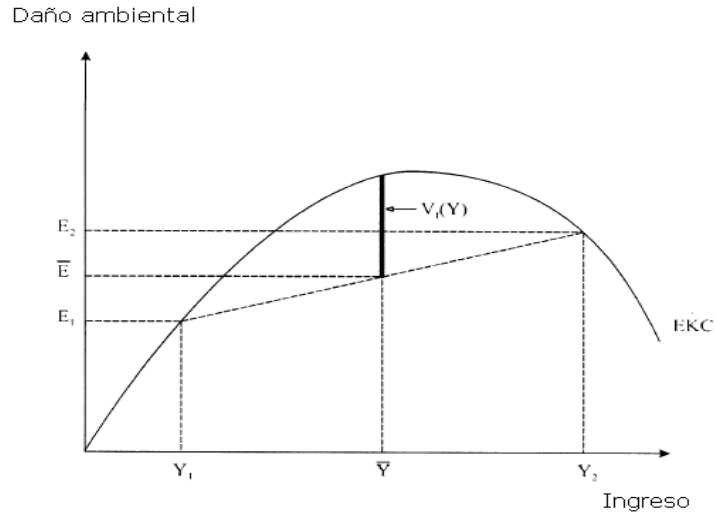
reducción de la contaminación; esto se puede dar gracias a que, en cuanto una economía crece, mayores inversiones se hacen en investigación y desarrollo; si estas están bien dirigidas entonces el aumento en el nivel de producción generará reducciones del daño ambiental en una mayor proporción al aumento del consumo.

3.3 La heterogeneidad de ingresos.

Si se llegase a cumplir la hipótesis de la EKC, la relación entre desarrollo económico y generación de contaminantes estaría correctamente especificada por la Figura 1. Sin embargo, la heterogeneidad en los ingresos de los individuos plantea otros problemas que vale la pena considerar.

Tal como lo muestra la Figura 1, en una sociedad compuesta por dos familias, que perciben ingresos distintos, Y_1 y Y_2 , el daño ambiental medio sería representado por el valor intermedio entre los diferentes daños ambientales, \bar{E} . Éste grado de degradación ambiental difiere significativamente del correspondiente al ingreso medio, \bar{Y} . Por lo tanto, al agregar la información ambiental disponible para diferentes agentes de una sociedad donde el ingreso se distribuye inequitativamente se cae en un problema llamado sesgo de agregación en modelos lineales.

Figura 1. Ingresos per cápita y daño ambiental medio..



Fuente: Heerink (2001)

Una aproximación bastante completa a la Figura 1 es presentada en el trabajo de Brannlund y Ghalwash (2008). Según los autores la forma funcional de la EKc a un nivel desagregado podría seguir una forma funcional como:

$$E_i = g(x_1(p, y_i), x_2(p, y_i), \dots, x_k(p, y_i)) = f(p, y_i), i = 1 \dots n \quad (8)$$

Donde g es la función de determinación del nivel de contaminantes, esta a la vez depende de los niveles de consumo determinados como x_k . Por último, estos niveles de consumo se encuentran en función tanto de un vector de precios p como de la renta del hogar y_i .

Al agregar para todos los hogares de manera simple se obtiene la siguiente forma:

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(p, y_i) = f(p, \bar{y}) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f(p, y_i) - f(p, \bar{y})) \quad (9)$$

La dimensión del sesgo de agregación se ve afectada entonces por la diferencia de los ingresos, es decir, el grado de desigualdad.

3.4 Ecuación en forma reducida con desigualdad.

En trabajos como el de *Grossman y Krueger (1995)* los investigadores adjudican la forma de la EKC a mejoras tecnológicas en la producción y el abatimiento. Otros autores como *Selden y Song (1995)* proponen que la forma de la curva se da también gracias a cambios en las preferencias de los ciudadanos a medida que el ingreso aumenta, pasando de bienes manufacturados a bienes ambientales. Sin embargo la ecuación a estimar, tal como se explicó anteriormente es una ecuación en forma reducida cuya variable dependiente es el nivel de generación de varios contaminantes, esta se corre en contra de el ingreso y el ingreso al cuadrado.

Retomando lo propuesto por Heerink (2001), es necesario incluir una variable que mida el nivel de desigualdad, ya que si no se hace esto se cae en un problema de omisión de variable relevante. La variable índice de Gini es incluida entonces en la ecuación 1.

$$E = \beta_0 + \beta_1 * Y_{it} + \beta_2 * Y_{it}^2 + \beta_3 * G_{it} + u_{it} \quad (10)$$

Si la hipótesis de la EKC se cumple los coeficientes , se comportan de la siguiente manera.

Tabla 1. Coeficientes esperados de las variables explicativas

Variable	Signo esperado del coeficiente
Renta per cápita	Positivo
Renta per cápita ²	Negativo
Gini	Negativo

Dado que la relación contaminación ingreso guarda una forma estrictamente convexa, según el trabajo de *Heerink (2001)*, la inevitable existencia del sesgo de agregación provoca que el coeficiente del índice de Gini sea negativo, sin embargo, no existe ninguna justificación de que una política redistributiva genere mayor daño ambiental. Es necesario remarcar de nuevo que la inclusión de la variable Gini es necesaria con tal de evitar el problema de omisión de variable relevante, el efecto de economía política es entonces imperceptible bajo estas condiciones.

4. MARCO ECONOMÉTRICO

4.1 Análisis descriptivo.

4.1.1 Lista de variables (Muestra para 126 países entre 1990 y 2006).

Variable dependiente: CO₂, Emisiones de Dióxido de Carbono per cápita (Medido en toneladas métricas).

Descripción: Emisiones promedio de CO₂ en toneladas métricas durante el año dado, calculado al dividir el total del contaminante con el total de la población para el país.

Problemas asociados a su generación:

El Dióxido de Carbono (CO₂) es uno de los mayores contribuyentes al fenómeno de calentamiento global.

Su generación está asociada en su mayoría al uso de combustibles fósiles, carbón y otros.

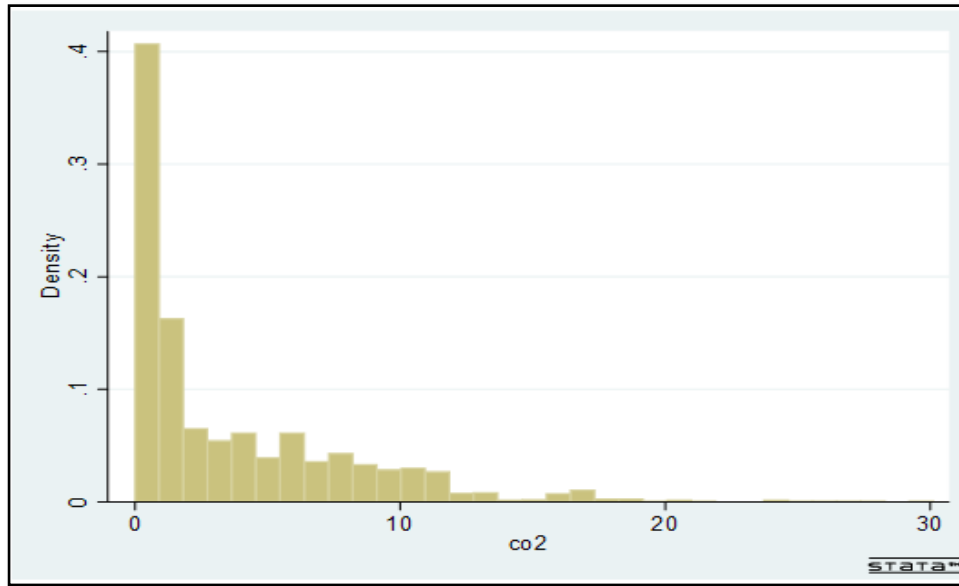
Fuente: CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center)

Documento: <http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/CSV-FILES/>

CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) - nation.1751_2006.csv

Tabla 2. Descripción de la variable CO2.

Variable	Obs	Media	Desv. Est.	Min	Max
co2	2122	3.66	4.349	0	30.12



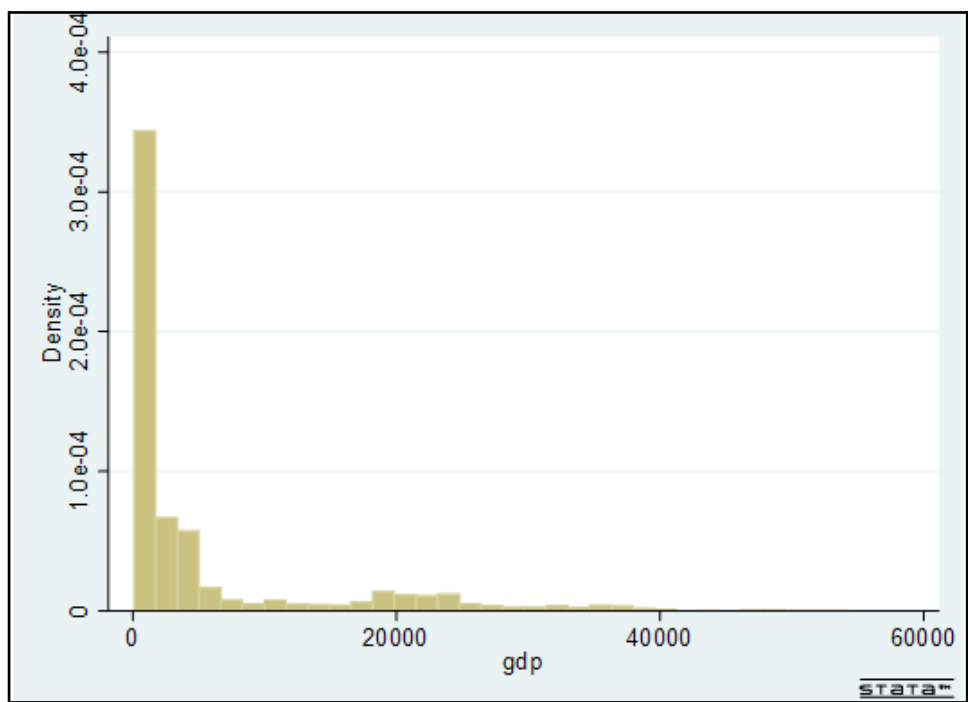
Variables explicativas:

Ingreso per cápita: El ingreso per cápita por el método de la paridad del poder adquisitivo (en dólares internacionales, con precios fijos del 2000). La inflación, más no las diferencias en el costo de vida entre países, se ha tenido en cuenta.

Fuente: www.gapminder.org

Tabla 3. Descripción de la variable ingreso per cápita (dólares del año 2000).

Variable	Obs	Media	Desv. Est.	Min	Max
gdp	2122	55334.086	9108.593	102.286	54405.83



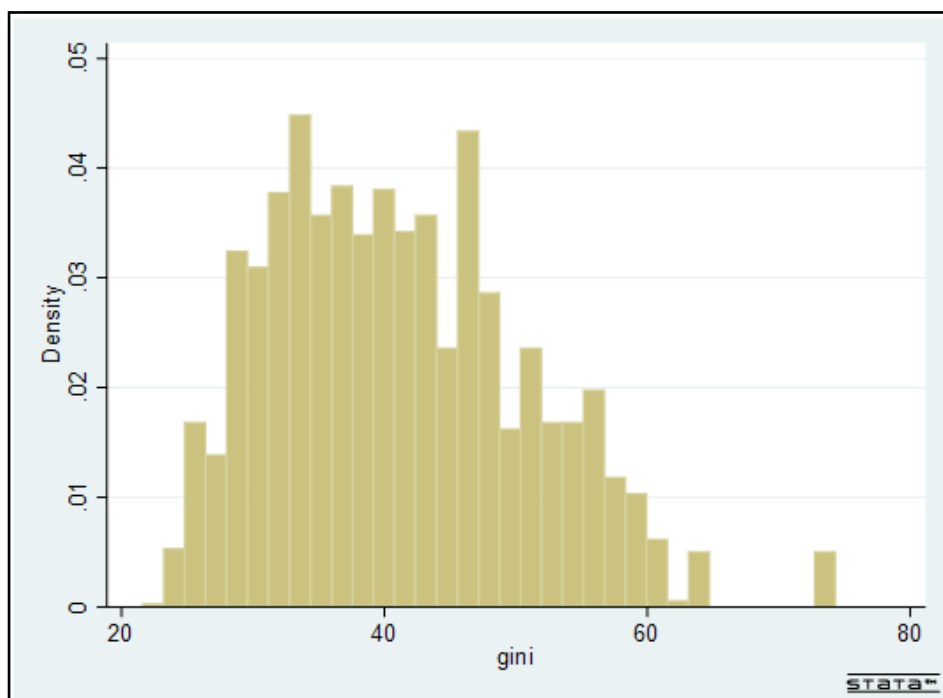
Índice de desigualdad del ingreso de Gini:

Fuente: Banco Mundial.

Enlace: <http://go.worldbank.org/B53SONGPA0>

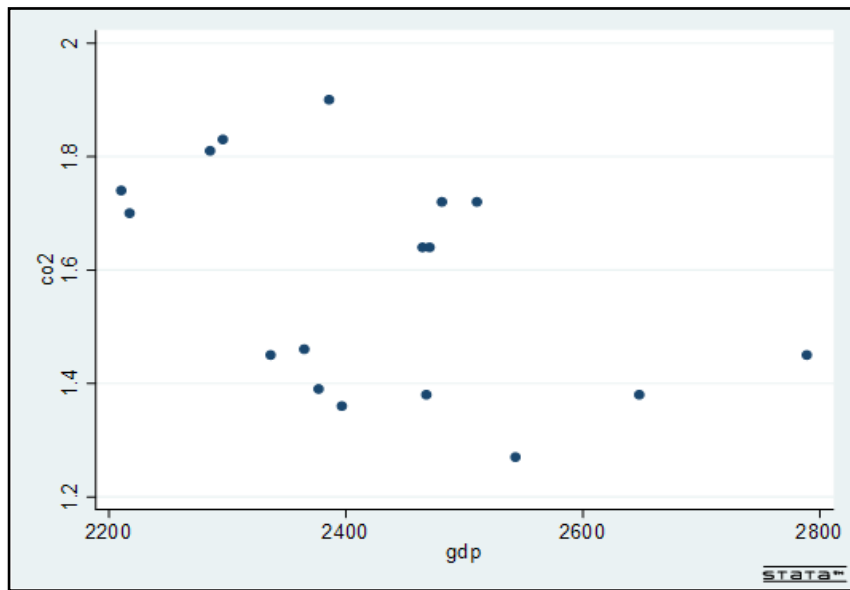
Tabla 4. Descripción de la variable GINI.

Variable	Obs	Media	Desv. Est.	Min	Max
Gini	2122	41.09217	9.612843	21.6	74.33



4.2 La situación para Colombia.

Variable	Obs	Media	Desv. Est.	Min	Max
co2	17	1.578824	0.195732	1.27	1.9
gdp	17	2426.094	148.6419	2210.283	2789.079
gini	17	57.67	0.5536245	56.06	58.83



Un análisis inicial de los datos lleva a comparar las relaciones existentes entre los valores de la variable Dióxido de Carbono per cápita con el ingreso per cápita. En la tabla 3 se presenta una tabla cruzada de ambas variables, lo que puede dar una pista inicial de la existencia o no de la EKC para el Dióxido de Carbono.

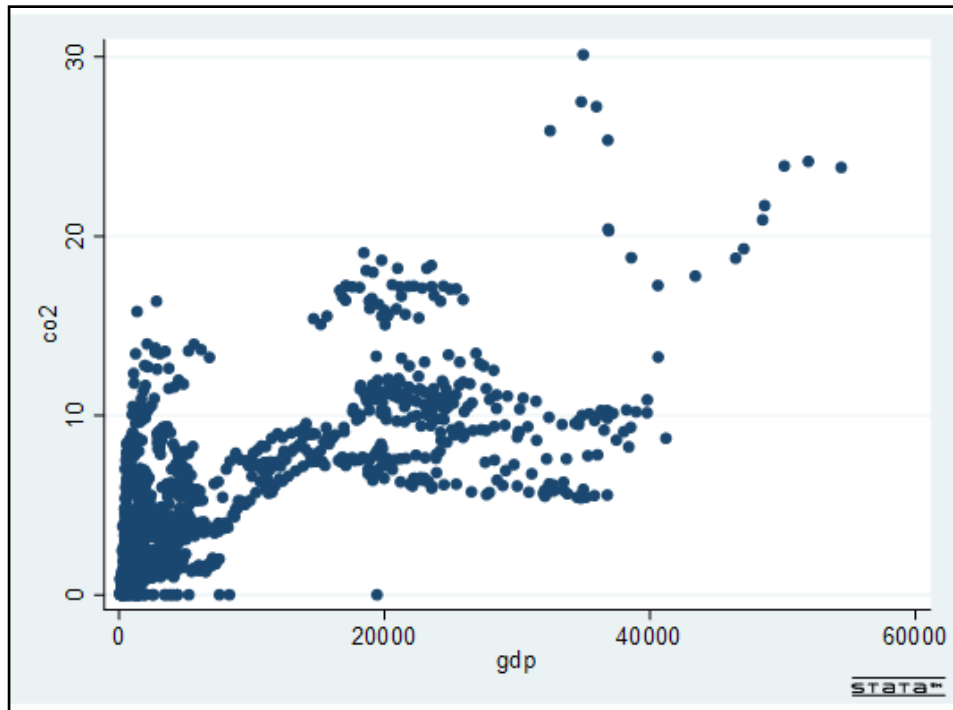
Tabla 5. Frecuencias absolutas cruzadas de las variables co2 y gdp.

Count		GDP						Total
		[0, 10000)	[10000, 20000)	[20000, 30000)	[30000, 40000)	[40000, 50000)	[50000, 60000)	
CO2	[0, 5)	1483	1	0	0	0	0	1484
	[5, 10)	219	102	64	43	1	0	429
	[10, 15)	34	28	73	12	1	0	148
	[15, 20)	2	19	23	1	4	0	49
	[20, 25)	0	0	0	2	2	3	7
	[25, 30)	0	0	0	4	0	0	4
	[30, 35)	0	0	0	1	0	0	1
	Total	1738	150	160	63	8	3	2122

Tabla 6. Frecuencias relativas cruzadas de las variables co2 y gdp.

%		GDP						Total
		[0, 10000)	[10000, 20000)	[20000, 30000)	[30000, 40000)	[40000, 50000)	[50000, 60000)	
CO2	[0, 5)	69.89	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	69.93
	[5, 10)	10.32	4.81	3.02	2.03	0.05	0.00	20.22
	[10, 15)	1.60	1.32	3.44	0.57	0.05	0.00	6.97
	[15, 20)	0.09	0.90	1.08	0.05	0.19	0.00	2.31
	[20, 25)	0.00	0.00	0.00	0.09	0.09	0.14	0.33
	[25, 30)	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.19
	[30, 35)	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05
	Total	81.90	7.07	7.54	2.97	0.38	0.14	100.0

Figura 5. Diagrama de dispersión.



Se puede observar a partir de las tablas 5 y 6 y la figura 5. que del total de observaciones, 68,89% se encontraba en un nivel de ingreso per cápita de 0 a 10,000 dólares per cápita del 2000; 85.06% de la muestra se encuentra a la vez en dicho nivel de ingreso y en la parte inferior de la generación del contaminante: de 0 a 10. A medida que se avanza en la tabla hacia la derecha más observaciones se ubican en la parte superior de la distribución de la generación de contaminantes. El punto cúspide de la distribución de los valores de generación del contaminante, 30 a 35, es alcanzado en el nivel de 30,000 a 40,000 dólares del año 2000.

Dicha información otorga algunas luces iniciales acerca de la existencia de la EKC y es que, dado que en el último rubro del ingreso la tendencia vista en los anteriores segmentos se rompe, se podría decir que de hecho existe un punto de inflexión que marca la transición a un comportamiento ambientalmente más responsable.

Sin embargo es necesario reconocer que el porcentaje ubicado en el rango cruzado de de 15 a 20 co2 y de 40000 a 50000 dólares per cápita de ingreso es bastante bajo y podría estar compuesto por observaciones atípicas, por lo tanto el análisis descriptivo se queda corto y es necesario complementarlo con un análisis econométrico.

4.3 Ventajas de una estimación anidada de datos panel vs una agrupada.

Es de esperar, dadas las diferencias tanto climáticas como idiosincrásicas de los países, que el componente de error contenga diferentes aspectos relevantes que expliquen el comportamiento de la generación de contaminantes; siendo así, tendríamos que:

$$u_i = Z_i + v_i \quad (11)$$

Donde Z_i resume todos los componentes no observados invariantes en el tiempo del país i que influyen en la determinación de su nivel de contaminación pero son desconocidas o de difícil medición.

No tener en cuenta el papel de las variables incluidas en Z_i , puede conducir a estimadores sesgados de la EKC, por tanto la estimación por MCO (POOLS) puede no ser la más apropiada. Sin embargo, dada la poca información disponible con respecto a temas tan importantes como: la capacidad del medio ambiente disponible para cada país para asimilar contaminantes; la naturaleza de los combustibles necesarios para realizar las labores más mundanas; cercanía a centros de depósito de residuos, entre otras características, Z_i siempre será desconocida y por lo tanto se agrega en el término de error.

“Los datos panel sugieren que los países son heterogéneos. Los estudios de series de tiempo y corte transversal que no controlan esta heterogeneidad corren el riesgo de obtener resultados sesgados” (Baltagi 1995). El uso de una estimación por el método de efectos fijos o efectos aleatorios tiene ventajas con respecto a la estimación de datos agrupados si realmente existe el componente no observado, por lo tanto como método de estimación se utilizará un método de datos anidados.

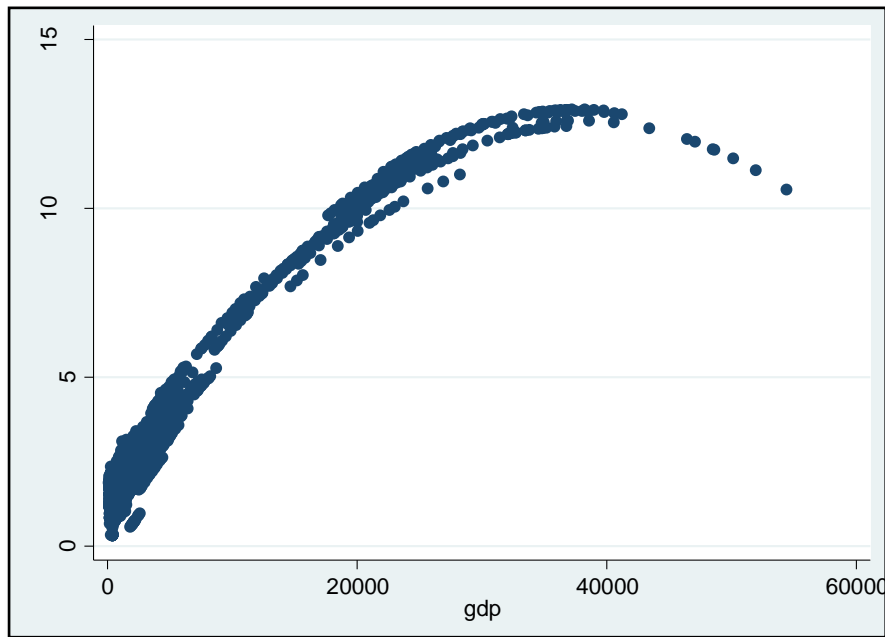
5. RESULTADOS

Tabla 7. Salida de la estimación agrupada

Variables	Agrupado
co2	
Gdp	5.632e-04*** (1,96E-02)
Gdpsq	-7.444e-09*** (5,90E-07)
Gini	-5.496e-02*** (6,80E+00)
Constante	3.647e+00*** (3,07E+02)
Observaciones	2122
R-cuadrado	0.607
Errores estándar en paréntesis	
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1	

Punto de quiebre: US (2000) \$37.815

Figura 6. Estimación del comportamiento de CO2 por MCO(POOLED).



A manera de introducción se presentan los resultados de la estimación agrupada por mínimos cuadrados ordinarios en la tabla 4.

El coeficiente estimado del ingreso per cápita (Gdp) es significativo; de igual manera, para la variable ingreso per cápita al cuadrado (Gdpsq) e Índice de Gini (Gini) se puede rechazar la hipótesis nula de que el coeficiente poblacional es igual a 0. Del coeficiente de bondad de ajuste se podría decir que es relativamente alto (0.607).

Tal como se esperaba, todos los coeficientes son altamente significativos y mantienen los signos que se esperaban, por lo tanto se podría decir que existe evidencia que valida la hipótesis de la Curva de Kuznets ambiental para el contaminante dióxido de carbono sin embargo, tal como se expuso en el apartado anterior, es necesario constatar estos hallazgos con una regresión de datos panel que tenga en cuenta la heterogeneidad entre países.

En orden de constatar la necesidad de usar una estimación de datos panel se realiza la prueba de Breusch/Pagan o del multiplicador de Lagrange para efectos aleatorios. Dependiendo del resultado de esta se verificara si es acaso útil usar una estimación anidada o por el contrario el modelo expresado en la tabla 7 es una aproximación suficiente al problema de investigación:

Tabla 8. Prueba de Breusch/Pagan.

$$CO2(pais, t) = Xb + u(pais) + e(pais, t)$$

	Var	Sd= $\sqrt{\text{var}}$
co2	18.91406	4.34903
e	1.15618	1.075258
u	6.404368	2.530685

Prueba: $Var(u) = 0$

$$\chi^2_1 = 11982.67$$

$$Prob > chi2 = 0.0000$$

Los resultados de la prueba de Breusch/Pagan muestran que es necesario realizar una aproximación a través de un modelo de datos panel.

Tabla 9. Salida de la estimación por medio de métodos de datos panel

Variables	Efectos fijos	Efectos aleatorios
co2		
gdp	2.576e-04*** (4,78E-05)	4.520e-04*** (3,48E-05)
gdpsq	-4.198e-09*** (8,24E-10)	-6.839e-09*** (6,82E-10)
gini	-1,06E-02 (1,65E-02)	-3.808e-02*** (1,39E-02)
constante	3.146e+00*** (7,01E-01)	3.491*** (6,46E-01)
Observaciones	2122	2122
R-cuadrado	0.015	
Número de países	126	126
Errores estándar en paréntesis		
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1		

De las estimaciones mediante el uso de métodos de datos panel, tanto de efectos fijos (EF) como aleatorios (EA) se dan diferentes resultados que es necesario resaltar:

- La estimación por (EF) varía significativamente de la de (EA).

Dado que la estimación por (EA) es más eficiente que la estimación por (EF), si los coeficientes estimados por ambos métodos no fueran

significativamente distintos entre sí entonces la mejor opción sería tomar los resultados obtenidos por (EA). Un contraste que ayuda a determinar la diferencia significativa entre ambas estimaciones es el test de Hausman:

Tabla 10. Prueba de Hausman sobre las estimaciones de EA y EF.

	Coeficientes			$\sqrt{\text{diag}(Vb - VB)}$ Desv. Std.
	b EF	B EA	(b-B) Diferencia	
Gdp	2.576e-04	4.520e-04	-0.0001944	0.000327
Gdpsq	-4.198e-09	-6.839e-09	2.64e-09	4.63e-10
Gini	-1,06E+01	-3.808e-02	0.0275027	0.0089453
<p>Prueba: Ho: La diferencia entre los coeficientes no es significativa</p> $\chi^2_2 = (b - B)'[(Vb - VB)^{-1}](b - B) = 37.59$ <p><i>Prob > chi2 = 0.0000</i></p>				

Se rechaza entonces la hipótesis nula de que la diferencia entre los coeficientes no es sistemática o relevante. Por lo tanto, ya que es la más consistente, la estimación por EF es la que mejor se ajusta a los datos provistos.

- El coeficiente estimado para la variable Gini no es significativo en la estimación por EF.

La variable Gini fue construida de tal manera que para aquellas observaciones en que no existían valores de esta variable los valores medios del índice de cada país ocuparan su lugar. De esta manera, la variabilidad del índice es muy limitada. Dicho esto, es de esperar que el

grado de desigualdad sea en si mismo un efecto fijo y sea captado en la estimación por el método de EF.

Tabla 11. Salida de la estimación por medio del método de efectos fijos.

Variables	Efectos fijos
CO2	
Gdp	2.572e-04*** (4,77E-05)
Gdpsq	-4.198e-09*** (8,24E-07)
Constante	2.7131*** (0.1824)
Observaciones	2122
R-cuadrado (overall)	0.5862
Número de países	126
Errores estándar en paréntesis	
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1	

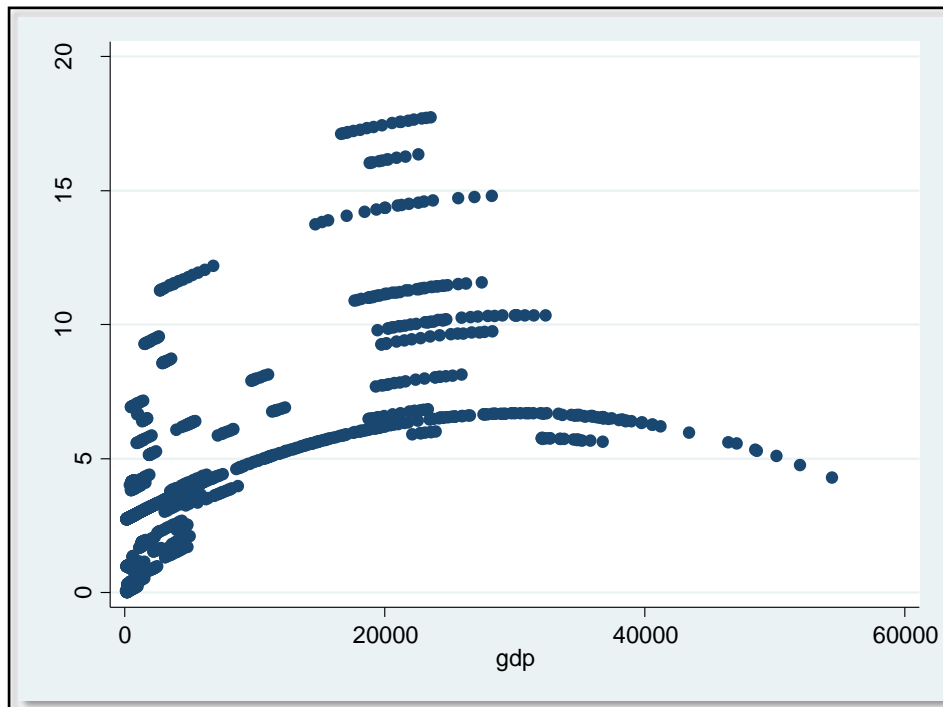
Punto de quiebre: US (2000) \$30.692

Tabla 12. Algunos efectos fijos

País	Efecto fijo
Colombia	-1.730458
Argentina	-0.675862
Australia	11.25965

Brazil	-1.869460
Canada	9.936089
Chile	-0.438581
China	-0.012910
Costa Rica	-2.153049
Ecuador	-1.160700
Finland	4.931799
France	0.381918
Germany	3.633313
Japan	3.402819
Luxembourg	16.62213
Mexico	0.086291
Russia	6.187484
Sweden	-0.480043
United Kingdom	3.079450

Figura 7. Estimación del comportamiento de CO2 por Efectos fijos.



El punto de inflexión estimado en la regresión de MCO (POOLS): US \$ 37,815 difiere al de (EF): US \$ 30,692.

La diferencia más notable entre las figuras 6 y 7 yace en que la primera mantiene tan solo una curva; las observaciones proyectadas difieren tan solo un poco unas de otras debido al efecto de la desigualdad. Por el contrario en la segunda ilustración es posible apreciar que existen muchas relaciones de contaminación-ingreso, el efecto fijo es entonces apreciable si se piensa en este como un punto de partida diferente para cada país. Si se analiza cada país desde el punto de quiebre se tendría que, aunque este se mantiene en el mismo nivel de ingresos, el nivel de dióxido de carbono asociado a este es diferente:

Tabla 13. Estimación de los niveles de dióxido de carbono asociados al punto de inflexión.

País	co2
Colombia	4,92970816
Argentina	5,98430416
Australia	7,78613116
Brazil	4,79070616
Canada	16,5962552
Chile	6,22158516
China	6,64725616
Costa Rica	4,50711716
Ecuador	5,49946616
Finland	11,5919652
France	7,04208416
Germany	10,2934792
Japan	10,0629852
Luxembourg	8,32237916
Mexico	6,74645716
Russia	12,8476502
Sweden	6,18012316
United Kingdom	9,73961616

6. CONCLUSIONES Y REFLEXIÓN FINAL.

6.1 Conclusiones.

Los resultados expuestos en ésta investigación muestran que la hipótesis de la EKC se cumple para el contaminante Dióxido de Carbono; según los estimadores obtenidos, existe un umbral que marca la diferencia entre una nación para la cual un aumento del producto se ve ligado a un empeoramiento de la calidad ambiental, a una donde un aumento del producto interno bruto per cápita se traduce en reducción de las emisiones per cápita del contaminante. Dicho punto corresponde a un nivel de ingreso per cápita de 30,692 dólares del año 2000, un valor significativamente alto que pocos países pueden alcanzar, así que, aunque los resultados obtenidos pueden dar sustento a la hipótesis de la EKC, si se tiene en cuenta la condición de la mayoría de países, el punto de inflexión de la relación contaminación ingreso es inalcanzable aún para gran parte del mundo entero.

El contraste de Breusch-Pagan, que tiene como fin determinar si es necesario usar un modelo anidado o uno agrupado, muestra que es necesario usar una estimación por medio del método de efectos aleatorios o de efectos fijos y no una agrupada. Se demuestra de esa manera que las diferencias de condiciones entre países cobran particular importancia en las estimaciones de las relaciones contaminación-ingreso. Las estimaciones de corte transversal, que predominan en los trabajos regulares de la hipótesis de la Curva de Kuznets ambiental omiten dicha información, por lo tanto podrían caer en errores de medición y perderían por lo tanto gran validez.

El efecto de la desigualdad es inobservable; al trabajar con datos agregados por países se cae inevitablemente en el problema de sesgo de agregación en modelos lineales, esto produce que, si la relación es estrictamente convexa (tal como la EKC) el coeficiente de la desigualdad sea negativo. A primera vista el resultado

parecería indicar que un aumento de la desigualdad desembocaría en una reducción de la contaminación; tal conclusión, además de injustificada, va en contra de la teoría propuesta. Es necesario tener en cuenta que la inclusión de la variable Gini tiene como fin evitar el problema de omisión de variable relevante, dejando de lado cualquier estimación del efecto de política. Al usar el método de efectos fijos además la variable ya no es significativa, así que no es necesario incluir esta en la regresión. La investigación arroja entonces el siguiente resultado: Al usar el método de estimación de efectos fijos se soluciona el problema de sesgo de agregación en modelos lineales, esto debido a que el índice de desigualdad, de baja variabilidad, es agregado como un efecto fijo.

6.2 Reflexión final.

A primera vista, dado que los resultados obtenidos gracias a la estimación por efectos aleatorios indican que la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental se cumple para el dióxido de carbono, se podría decir que el crecimiento económico sin límites es posible y este daría solución al problema ambiental generado, pero tal conclusión sería apresurada y probablemente errónea.

Si algo ha dejado como enseñanza la simultaneidad entre la crisis ambiental del momento y la actual crisis económica mundial es que la relación producto-medio ambiente es demasiado compleja y sería iluso intentar representarla tan solo de la forma propuesta en este trabajo. Sin embargo, si la hipótesis de la EKC se observa desde otro punto de vista, y es que esta representa la posibilidad de cambio tecnológico que una sociedad es capaz de aprovechar con el fin de reducir los niveles de contaminación por producto, entonces el punto de inflexión no representa ya la desaparición del problema ambiental sino la posibilidad de cambio

en la manera en que las actividades de producción, consumo y disposición final se relacionan con el medio ambiente.

Si se asume que los avances tecnológicos no tienen restricciones entre países, es decir, que los países más pobres pueden aprovechar las mejoras en la forma de producir y de reducir la contaminación generadas en países ricos, entonces se podría esperar que no todas las sociedades transitaran a través de la misma curva o relación de contaminación ingreso y es que, gracias a la colaboración internacional aquellas comunidades que se encuentran en la parte creciente de la curva de Kuznets ambiental (es decir, desde el último punto de vista planteado, que se encuentran en camino a encontrarse con el cambio tecnológico) ya no tendrían que asumir los costos asociados a generar nuevas tecnologías más limpias, sino que serían capaces de aprovechar la experiencia ajena y, por lo tanto ubicarse en otra curva de Kuznetz más cercana al origen.

El desarrollo sostenible es entonces compatible con la EKC si se observa desde el segundo punto de vista. De otra manera sería imposible para muchos países encontrarse con el punto de inflexión; dado el grado de resiliencia de los ecosistemas, es difícil imaginar que el crecimiento económico sostenido sea alcanzable si la manera en que los seres humanos se enfrentan a la naturaleza en los procesos de producción, consumo y disposición final se mantienen tal como hasta el momento.

7. REFERENCIAS

- Arrow, K., (1995). "Economic growth, carrying capacity, and the environment". *Ecological Economics*, No 15, Pp. 91-95.
- Baltagi, B. (1995). *Econometric analysis of panel data*. Ed Wiley, Londres.
- Boyce, J.K., (1994). "Inequality as a cause of environmental degradation". *Ecological Economics*, No 11, Pp.169–178.
- Brannlund, R. y Ghalwash, T., (2008) "The income-pollution relationship and the role of income distribution: An analysis of Swedish household data". *Resource and Energy Economics*, No 30, Pp. 369-387.
- Correa, F., Vasco, A. y Pérez, C., (2005), "La curva medioambiental de Kuznets: Evidencia empírica para Colombia". *Semestre Económico*, volumen 8, número 15 enero - junio de 2005, Universidad de Medellín.
- Field, B. y Azqueta, D., (1996), *Economía y medio ambiente*. Bogotá, Ed. McGraw Hill.
- Gergel, S. et al., (2004), "A test of the Environmental Kuznets Curve using long-term watershed inputs". *Ecological Applications*, volumen 14, número 2, pp 555-570.
- Grossman, G. M. y Krueger A. B. (1995), "Economic growth and the environment", *The Quarterly Journal of Economics*, No. 110, pp. 353 – 377.
- Heerink, N., (2001). "Income inequality and the environment: aggregation bias in environmental Kuznets Curves". *Ecological Economics*, No 38 Pp. 359 – 367.
- Kuznets, Simon, (1955), "Economic Growth and Income Inequality", *American Economic Review*, No. 45, pp. 1-28.
- Magnani, E., (2000), "The environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution". *Ecological Economics*, No 32, Pp. 431 - 443.

Marshall, Alfred, (1890), *Principios de economía*. Londres, Ed. Macmillan and Co.

Panayotou, T., (1993). "Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development". *Working Paper*, World Employment Program. International Labor Office, Geneva.

Pigou, Arthur C., (1920), *Economía del bienestar*. Londres, Ed. Macmillan and Co.

Selden, M, Thomas y Song, Daqing, (1994), "Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?", *Journal of Environmental Economics and Management*, No. 27,. Pp. 147-162.

Shafik, N., (1994), "Economic Development and environmental quality: An econometric analysis". *Oxford Economic Papers*, No 46, Pp. 757 - 773.

Xepapadeas, A., (2003), "Economic Growth and the Environment". En *Handbook of Environmental Economics*.