



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 21 de Julio de 2020.

Señores
CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Camilo Fabiam Gómez Segura, con C.C. No. 1075237833,
Edwin Fernando Acero Cebay, con C.C. No. 7709371,
Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado: **“Crecimiento económico sostenible: una evidencia empírica de la curva medioambiental de Kuznets”**

presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de ESPECIALISTA EN ESTADÍSTICA;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

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, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: CRECIMIENTO ECONÓMICO SOSTENIBLE: UNA EVIDENCIA EMPÍRICA DE LA CURVA MEDIOAMBIENTAL DE KUZNETS

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Gómez Segura	Camilo Fabiam
Acero Cebay	Edwin Fernando

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cerquera Losada	Oscar Hernan

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: ESPECIALISTA EN ESTADÍSTICA

FACULTAD: CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA O POSGRADO: ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2020

NÚMERO DE PÁGINAS: 35

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros_X_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: STATA

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):



PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español	Inglés
1. Curva medioambiental de kuznets	Kuznets environmental curve
2. Contaminación ambiental	Environmental pollution
3. Crecimiento económico	Economic growth
4. Datos panel	Data panel

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente trabajo busca comprobar empíricamente la hipótesis de la Curva Medioambiental de Kuznets en las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) durante el periodo 1990 – 2012 para 217 economías, utilizando la base de datos del Banco Mundial. Se realizó un modelo de datos panel bajo tres alternativas (efectos fijos, efectos aleatorios y primeras diferencias). Los resultados obtenidos muestran que existe una relación de U invertida entre la contaminación ambiental (CO_2 y N_2O) y el Producto Interno Bruto per cápita como medida de crecimiento económico, siendo el método de efectos fijos el que genera estimaciones consistentes al aplicar la prueba de Hausman. No obstante, la relación entre contaminación y crecimiento económico presenta rendimientos decrecientes muy bajos, lo cual genera elevados puntos de inflexión principalmente en las emisiones de CO_2 .

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The present work seeks to empirically test the hypothesis of the Kuznets Environmental Curve in the emissions of carbon dioxide (CO_2) and nitrous oxide (N_2O) during the period 1990 - 2012 for 217 economies, using the World Bank database. A panel data model was carried out under three alternatives (fixed effects, random effects and first differences). The results obtained show that there is an inverted U relationship between environmental pollution (CO_2 y N_2O) and Gross Domestic Product per capita as a measure of economic growth, with the fixed effects method generating consistent estimates when applying the Hausman. However, the relationship between pollution and economic growth presents very low decreasing returns, which generates high turning points, mainly in emissions from CO_2 .



APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: **ALFONSO SANCHEZ HERNANDEZ**

Firma:

Nombre Jurado: **GERARDO PEDRAZA VEGA**

Firma:

CRECIMIENTO ECONÓMICO SOSTENIBLE: UNA EVIDENCIA EMPÍRICA DE
LA CURVA MEDIOAMBIENTAL DE KUZNETS

CAMILO FABIAN GOMEZ SEGURA
EDWIN FERNANDO ACERO CEBAY

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA
NEIVA-HUILA

2020

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA

CARTA DE ACEPTACIÓN

En calidad de Coordinador del Posgrado Especialización en Estadística, programa reconocido por el Ministerio de Educación Nacional mediante Resolución de Registro Calificado No. 3683 del 2 de marzo de 2018 y adscrito a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Surcolombiana, me permito informar que el trabajo de investigación titulado: **“CRECIMIENTO ECONÓMICO SOSTENIBLE: UNA EVIDENCIA EMPÍRICA DE LA CURVA MEDIOAMBIENTAL DE KUZNETS”** presentado por los estudiantes Camilo Fabiam Gómez Segura y Edwin Fernando Acero Cebay; es ACEPTADO como trabajo de grado para optar el título de Especialista en Estadística.

Para constancia se firma en la Ciudad de Neiva, a los veinte (20) días del mes de julio del año 2020.


JOSE MIGUEL CRISTANCHO FIERRO
Coordinador

CRECIMIENTO ECONÓMICO SOSTENIBLE: UNA EVIDENCIA EMPÍRICA DE
LA CURVA MEDIOAMBIENTAL DE KUZNETS

CAMILO FABIAM GOMEZ SEGURA
EDWIN FERNANDO ACERO CEBAY

Trabajo de grado para optar al título de:
Especialista en Estadística

Director: Oscar Hernán Cerquera Losada
Magister en Economía - Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA
NEIVA-HUILA
2020

Índice general

1. Introducción.....	7
2. Planteamiento del problema	8
3. Objetivos de investigación.....	10
3.1. Objetivo general.....	10
3.2. Objetivos específicos	10
4. Justificación	11
5. Marco teórico.....	13
5.1 Antecedentes de investigación.....	14
6. Análisis de datos.....	20
6.1 Variables dependientes	20
6.2 Variables independientes	21
7. Metodología de investigación.....	24
8. Resultados de la investigación.....	26
9. Conclusiones y recomendaciones	31
Bibliografía.....	33
Anexos	34

Índice de gráficos:

Gráfico 1. Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) y óxido nitroso (N ₂ O) vs PIB per cápita durante el periodo 1990 – 2012.....	9
Gráfico 2. Crecimiento de dióxido de carbono (CO ₂) y óxido nitroso (N ₂ O) vs PIB per cápita para el año 2012.	12
Gráfico 3. Curva Medioambiental de Kuznets para el logaritmo natural de las emisiones de dióxido de carbono (CO ₂).	27
Gráfico 4. Curva Medioambiental de Kuznets para el logaritmo natural de las emisiones de óxido nitroso (N ₂ O).....	29
Gráfico 5. Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) durante el periodo 1990 – 2012..	34
Gráfico 6. Emisiones de óxido nitroso (N ₂ O) durante el periodo 1990 – 2012.....	35

Índice de tablas:

Tabla 1, Resultados de estimación para las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). . 28

Tabla 2. Resultados de estimación para las emisiones de óxido nitroso (N₂O). 30

1. Introducción

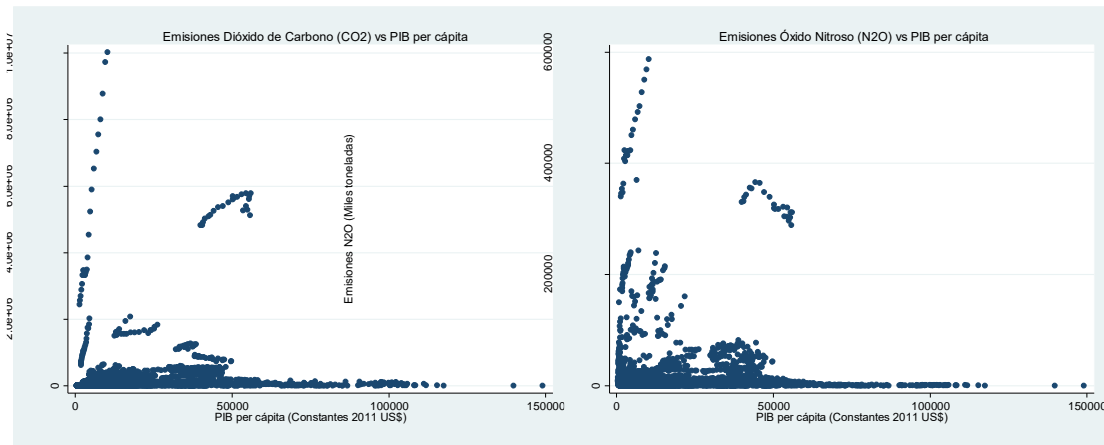
El presente trabajo busca comprobar empíricamente la hipótesis de la Curva Medioambiental de Kuznets (CMK) en la emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) durante el periodo 1990 – 2012, a través de la relación entre el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita como variable que explica el crecimiento económico y dos indicadores de calidad ambiental (dióxido de carbono CO_2 y óxido nitroso N_2O) utilizando un modelo de datos panel para 217 economías (se eliminan regiones). La literatura especializada establece que la relación empírica entre el crecimiento económico y la calidad ambiental está determinada por la Curva Medioambiental de Kuznets (CMK) con una forma de U invertida (Grossman & Krueger, *Economic Growth and the Environment*, 1995), la cual permite establecer que países con bajos niveles de ingreso están correlacionados con mayores indicadores de deterioro ambiental; sin embargo, a medida que los países incrementan sus ingresos generan cambios en su estructura económica, es decir, cambios tecnológicos, técnicos, procesos de producción y políticas de protección del medio ambiente en favor de compensar los efectos ambientales que genera su actividad económica (ver anexos).

La contribución de esta investigación consiste en emplear una serie de información que permita investigar la relación entre el crecimiento económico y la calidad ambiental. Es por ello, que se utilizan variables que describan el cambio en los procesos de producción a través de la eficiencia energética y la política ambiental. Para finalizar se espera obtener unos resultados que determinen que países con mayor nivel de ingreso, con una estructura de producción basada en la eficiencia de los recursos naturales y una política ambiental que contribuye a conservar el medio ambiente en el largo plazo disminuyen sus indicadores de deterioro ambiental; por su parte países en desarrollo con bajos ingresos y una estructura económica fundamentada en la extracción de recursos naturales y sector agrícola genera un nivel de crecimiento que tiene como consecuencia el deterioro de los recursos ambientales y por ende elevados niveles de deterioro ambiental.

2. Planteamiento del problema

¿Es el continuo crecimiento económico de los países el responsable del deterioro ambiental del planeta? O más aún ¿El incremento del ingreso y la riqueza son las variables que explican parte del deterioro ambiental de los recursos naturales? Las respuestas a estos interrogantes son esenciales para diseñar políticas apropiadas de desarrollo. La forma de producción y la composición de los bienes generan una relación negativa de la demanda ambiental y la actividad económica; sin embargo, la evidencia empírica sugiere que los países desarrollados han obtenido una transformación en su estructura económica. En principio, los cambios tecnológicos, procesos de producción y una legislación favorable a la conservación de recursos naturales ha sido lo suficientemente importante para compensar los efectos de la actividad económica en el medio ambiente (Grossman & Krueger, *Economic Growth and the Environment*, 1995). Debido a esto, el estudio empírico de la relación del ingreso nacional (variable proxy que explica el crecimiento económico) y las variables de calidad ambiental, se vuelve relevante en la formulación de estrategias que permitan una producción eficiente y sostenible en pro de conservar los recursos naturales. La gráfica 1 muestra la relación de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) con respecto al Producto Interno Bruto (PIB) per cápita para todos los países durante el periodo 1990 – 2012. Como se puede observar para ambos indicadores de deterioro ambiental, a medida que los países incrementan su PIB per cápita las emisiones de CO_2 y N_2O tienden a disminuir.

Gráfico 1. Emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y óxido nítrico (N_2O) vs PIB per cápita durante el periodo 1990 – 2012.



Fuente: Elaboración propia con base en información del Banco Mundial.

Bajo este análisis, si bien es cierto, es posible aportar algunos componentes en la hipótesis de inferir la existencia de la CMK, estos no son suficientes, por lo que este trabajo de investigación (basada en los análisis y argumentos anteriores) tiene como objetivo responder la siguiente inquietud: *¿Es posible comprobar empíricamente la existencia de la Curva Medioambiental de Kuznets en las emisiones de dióxido de carbono y óxido nítrico durante el periodo 1990 – 2012?*

3. Objetivos de investigación.

3.1. Objetivo general

Comprobar empíricamente la existencia de la Curva Medioambiental de Kuznets (CMK) en las emisiones de dióxido de carbono y óxido nitroso durante el periodo 1990 – 2012, utilizando un modelo de datos panel bajo tres alternativas (efectos fijos, efectos aleatorios y primeras diferencias).

3.2. Objetivos específicos

- Estimar el efecto de la producción de energía (uso de energía) en las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) (contaminación ambiental).
- Determinar los impactos de la protección de los recursos ambientales (ahorro ajustado por agotamiento de los recursos naturales) en las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) (contaminación ambiental).

4. Justificación

Identificar las causas y los efectos del deterioro ambiental ha generado un gran impacto en la sociedad, ejemplo de ello, es el gran número de trabajos sobre esta materia y más aún los acuerdos entre países que buscan mejorar su producción sostenible y por ende el cuidado de los recursos naturales (Conferencia Cambio Climático Paris, 2015). Dado esto, toma relevancia el supuesto de un crecimiento económico sostenible, es decir, se necesita una transformación en la estructura económica y política ambiental que genere el cambio en los procesos productivos para compensar los efectos adversos hacia el medio ambiente.

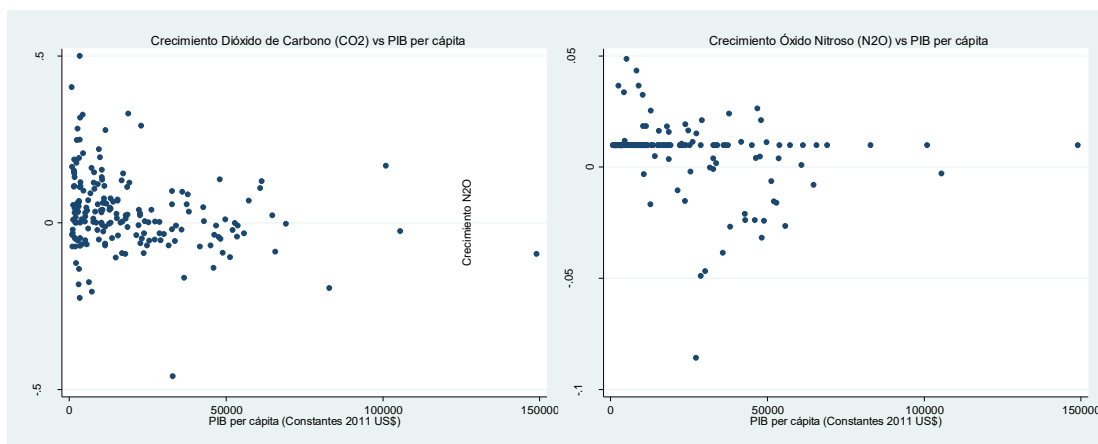
En este sentido una alternativa para estimar los efectos de la actividad económica en el medio ambiente es determinar el impacto del crecimiento económico representado por el ingreso nacional y los indicadores de calidad ambiental. Para ello, se utiliza la CMK, la cual establece que la relación empírica entre el nivel de ingreso per cápita y el deterioro ambiental se representa por una curva con forma de U invertida, revelando que países con bajos niveles de ingresos están correlacionados con un incremento en el deterioro ambiental; por su parte, países con niveles de ingresos altos tienen una menor contribución en el deterioro del medio ambiente (Grossman & Krueger, *Economic Growth and the Environment*, 1995).

El gráfico 2 presenta un diagrama de dispersión entre el crecimiento de las emisiones de CO_2 y N_2O con relación al PIB per cápita para 217 países y economías registradas en el Banco Mundial durante el año 2012. Los datos muestran una posible relación negativa en el tiempo entre el PIB per cápita y la tasa de crecimiento de contaminación ambiental medida a través de (CO_2 y N_2O), es decir, existe una convergencia a menores tasa de crecimiento de contaminación a medida que se incremental el nivel de ingreso (ver anexos).

Dicho análisis permite evidenciar la relación de factores que impactan el medio

ambiente, los cuales están estrechamente relacionados al crecimiento económico de las economías de los diferentes países y como estas interacciones impactan el medio ambiente. En este sentido, la CMK llega como alternativa empírica para comprobar la hipótesis entre crecimiento económico y calidad ambiental.

Gráfico 2. Crecimiento de dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) vs PIB per cápita para el año 2012.



Fuente: Elaboración propia con base en información del Banco Mundial.

Dado los anteriores argumentos, es necesario realizar el presente trabajo de investigación, no solamente para contribuir con el desarrollo del conocimiento, sino también para establecer los impactos de la estructura económica de los diferentes países en los bienes escasos (recursos naturales). Así mismo, se busca tener información relevante para el diseño apropiado de estrategias en política pública que permitan un crecimiento económico eficiente y por ende sostenible.

5. Marco teórico

La hipótesis de la curva de Kuznets presentada en 1955 por Simon Kuznets en su trabajo titulado “Economic Growth and Income Inequality”, establece la relación del crecimiento económico y la desigualdad en el ingreso. El autor encuentra que existe una relación en forma de U invertida¹ en largo plazo entre el crecimiento económico y la distribución del ingreso. Para ello, utiliza el razonamiento deductivo² que permita analizar los cambios en la distribución del ingreso, dado el proceso de crecimiento económico en los países desarrollados y subdesarrollados a finales del siglo XIX y mediados del siglo XX. Su estudio muestra que esta relación se puede explicar principalmente por tres factores: *Estructura poblacional*, *cambio en los sectores productivos* y *concentración del ahorro*.

Estructura poblacional. Los cambios en la estructura demográfica en los países desarrollados han llevado a concentrar su población en la zona urbana, lo cual conlleva a la población a emplearse en actividades que generen mejores ingresos y por ende un mayor crecimiento económico, que permita generar una movilidad en la distribución del ingreso a través del incremento en la participación del ingreso para los deciles más bajos.

Cambio en los sectores productivos. Establece que los cambios de la estructura productiva en favor del sector industrial con respecto al sector agrícola, ha llevado consigo a incrementar el ingreso per cápita en toda la distribución del ingreso, principalmente para los deciles con menores ingreso. Este factor compensa el incremento en la desigualdad provocado por el aumento de mano de obra “Inmigrante” asociado al sector agrícola.

¹ Se le conoce así a la relación entre variables que tiene tendencia estrictamente cóncava, es decir, para países con bajos ingreso existen elevados niveles de contaminación; sin embargo, al incrementarse el ingreso los datos muestran una disminución en los indicadores de contaminación.

² La falta de un modelo teórico formal razonable lleva Kuznets a establecer un razonamiento basado en evidencia empírica para construir fundamentos, que permitan analizar este posible fenómeno económico.

Concentración del ahorro. El incremento del sector industrial a través de nuevas industrias, que acompañado de un cambio tecnológico generar un incremento en la productividad, lo cual conlleva en un mejoramiento en la estructura del ingreso (laboral y excedente de ganancias), aumentando la concentración del ahorro, acumulación de factores productivos y por ende el crecimiento económico.

5.1 Antecedentes de investigación

El trabajo pionero que estudia la relación empírica entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental fue el desarrollado por Grossman y Krueger (1991), el cual tiene como objetivo estimar los impactos ambientales que puede traer los acuerdos de libre comercio en Estados Unidos. Los autores construyen una base de datos con dos fuentes de información para 42 países durante los años 1977, 1982 y 1988 ; la primera contiene los indicadores de contaminación (dióxido de sulfuro - SO_2 , partículas suspendidas en el aire y humo) reportados por el Sistema Global de Monitoreo Ambiental y la segunda incluye los datos del PIB per cápita recopilados por Summers y Heston (1991) como variable que mide el crecimiento económico. A partir de un modelo de datos panel, encuentran para dos indicadores de contaminación (dióxido de sulfuro - SO_2 y humo) que países con bajos niveles de actividad económica (PIB per cápita) tienen elevadas concentraciones de contaminación; sin embargo, al incrementar el PIB per cápita disminuye la contaminación³. Según ellos, países con ingresos elevados presentan un cambio a tecnologías que reduzcan la contaminación de los procesos productivos; así como también, fuertes regulaciones ambientales en la producción.

Existen diversas investigaciones empíricas que abarcaron esta problemática. (Shafik & Bandyopadhyaya, 1992), exploran la relación entre el crecimiento económico⁴ y calidad ambiental⁵ de 149 países durante el periodo 1960 – 1990. Ellos a través de un modelo

³ Con un punto de inflexión para países con un PIB per cápita entre 4.000 a 5.000 dólares.

⁴ Utilizan como variable de crecimiento el PIB per cápita.

⁵ Este estudio tiene como aporte el uso de indicadores ambientales que reflejan el impacto ambiental en toda su dimensión, los cuales son los siguientes: agua limpia, saneamiento básico, partículas suspendidas

de datos panel, encuentran evidencia de diferentes relaciones entre el crecimiento económico y los indicadores ambientales. Los indicadores que miden la contaminación del aire (partículas suspendidas en el aire y dióxido de sulfuro) y deforestación (cambio forestal y tasa de deforestación) muestran una relación de U invertida con relación al crecimiento económico, ya que países con elevados niveles de ingreso per cápita e inversión generan cambios en su transformación productiva a través de tecnología y medidas ambientales estrictas que permitan proteger los recursos naturales. Por su parte, los indicadores de contaminación del agua (agua limpia y disolución de oxígeno en los ríos), tienen un efecto negativo con respecto al crecimiento económico, los autores establecen que pueden deberse a externalidades en el costo de su tratamiento.

Grossman y Krueger (1995), elaboran un estudio estructural que permite evaluar la relación empírica entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental. Para ello, utilizan el PIB per cápita como variable proxy del crecimiento económico y cuatro tipos de indicadores de contaminación ambiental⁶. Un primer grupo que explica la contaminación en el aire, conformado por el dióxido de sulfuro (SO_2), humo y partículas pesadas en el aire. El segundo grupo examina la calidad del agua en los ríos, a través de la medición de los niveles de oxígeno, utilizando como indicadores los niveles de disolución de oxígeno, demanda biológica de oxígeno (*DBO*), demanda química de oxígeno (*DQO*) y los niveles de nitrato. El tercer grupo integran los indicadores de coliforme fecal y coliforme total para evaluar la contaminación patogénica generada por la falta de tratamiento de aguas residuales. Por último, el cuarto grupo representado por el plomo, cadmio, Arsenio, mercurio y níquel mide la concentración de partículas metálicas en el agua.

Los autores proponen un modelo de datos panel como instrumento metodológico que permita evaluar la relación entre el crecimiento económico y la contaminación

en el aire, dióxido de Sulfuro (SO_2), cambio forestal, tasa de deforestación y disolución de oxígeno en los ríos.

⁶ Los autores elaboraron una base de datos conformada por información del Banco Mundial y del Sistema Global de Monitoreo Ambiental.

ambiental. Los resultados obtenidos muestran que existe una cierta relación en forma de U-invertida entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental; encuentran que países con un PIB per cápita de \$8.000 y \$10.000 dólares tienen menores niveles de contaminación con respecto a países con menores ingresos. Ellos establecen que si bien existe una relación esta no se genera de forma causal (determinístico); sin embargo, empíricamente la relación entre el crecimiento y la contaminación no se puede rechazar.

Dado esto, los autores plantean una serie de hipótesis que busca contribuir a explicar esta relación. En primer lugar, la contaminación conlleva ex-post a que los países con mayor desarrollo generen como respuesta una estricta regulación ambiental (política pública). Segundo, puede existir un cambio en las preferencias de consumo en los agentes por bienes no intensivos en contaminación. Finalmente, en tercer lugar, desde el punto de vista de la oferta los países desarrollados con gran inversión en tecnología cambian su estructura productiva y procesos de producción a bienes menos intensivos en contaminación.

Por su parte, Selden y Song (1994) estudian la relación entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental, específicamente para indicadores de calidad de aire⁷, utilizando un modelo de datos y como base de datos los reportes emitidos por el Sistema Global de Monitoreo Ambiental. Los resultados sugieren que existe una posible relación en forma de U invertida entre el PIB per cápita y los todos los indicadores de contaminación del aire. Sin embargo, los autores establecen que si bien las emisiones se reducen; en el largo plazo pueden incrementarse debido al aumento poblacional y por ende el uso de los recursos naturales.

Bruyn, Van den Bergh y Opschoor (1998), buscan comprobar la hipótesis de la CMK para los países de Alemania Occidental, Holanda, Reino Unido y Estados Unidos

⁷ Partículas suspendidas en el aire, dióxido de sulfuro (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) y monóxido de carbono (CO).

durante el periodo 1960 – 1993⁸. Para ello, establecen un modelo econométrico⁹ basado en la intensidad de emisión de contaminantes, el cual refleja mejor el efecto de los cambios estructura económica, tecnología, procesos productivos y políticas de regulación ambiental en los indicadores de contaminación (dióxido de carbono - CO_2 , óxido de nitrógeno - NO_x y dióxido de sulfuro - SO_2). Los resultados muestran que la intensidad en las emisiones de contaminación tiene una correlación positiva con el crecimiento económico; según ellos, la reducción en las emisiones puede explicarse por los cambios en la tecnología y por ende la estructura económica. Así mismo, al estimar el crecimiento sostenible¹⁰, encuentran que existe una compensación en la emisión de contaminación, entre el efecto positivo que puede traer el crecimiento y el efecto negativo del cambio en la tecnología y estructura económica¹¹.

Por otro lado, un trabajo importante desde el punto de vista metodológico fue desarrollado por Stern y Common (2001), el cual busca comprobar empíricamente la existencia de la CMK empleando el azufre (S) como indicador de contaminación ambiental; utilizando un conjunto de datos de 73 países durante el periodo de 1960 – 1990¹². Plantean que una debilidad en los modelos estructurales utilizados para estudiar la CMK consiste en la correcta especificación del modelo¹³, lo cual puede generar un sesgo en los estimadores; para solucionar parcialmente este problema eligen como variable explicada el azufre¹⁴, dividen la muestra en países desarrollados (incluidos en

⁸ Construyen una base de datos con información de las siguientes autores e instituciones: Agencia Internacional de Energía, Banco Mundial, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), Laboratorio Nacional de Oak Ridge, Agencia de Protección Ambiental, Baumol y Oates (1979), Oficina Federal de Estadística (Alemania) y la Oficina Central de Estadística (Holanda).

⁹ Difiere del modelo en forma reducida desarrollado por Grossman y Krueger (1995), si bien es cierto, estima de manera directa la relación entre crecimiento económico y contaminación no es claro porque existe esa relación, es decir, es difícil interpretar los coeficientes.⁷

¹⁰ Se entiende como la tasa de crecimiento económico que no conduce a un crecimiento en las emisiones de contaminantes.

¹¹ Especialmente para la Alemania Occidental.

¹² En las emisiones de azufre se utiliza información de la OCDE; con respecto al PIB per cápita se emplea la base de datos Penn World desarrollada por la Universidad de California y el Centro de Crecimiento y Desarrollo de la Universidad de Groningen, para un total de 2.263 observaciones.

¹³ Debido a que no existe una variable específica que explique el comportamiento de los indicadores de contaminación, es decir, puede generar un problema de sesgo por variables omitidas o simultaneidad, ya que la deforestación o emisión de contaminantes son determinantes de crecimiento económico.

¹⁴ Es una variable que puede tener menos problemas de simultaneidad, debido a tecnologías que hacen más fácil controlar su emisión.

la OCDE) y en desarrollo (no incluidos en la OCDE); así mismo, utilizan el método de primeras diferencias para eliminar la heterogeneidad no observada en el tiempo. Ellos comprueban empíricamente la existencia de la CMK para los países desarrollados y no desarrollados; sin embargo, el punto máximo de contaminación es menor para los países desarrollados. Con relación a los estimadores bajo el método de primeras diferencias, encuentran que un incremento en el ingreso (PIB per cápita) genera un aumento promedio en las emisiones de azufre de 43% y 55% para los países en desarrollo y desarrollados respectivamente.

Finalmente, Luzzati y Orsini (2009) estudian la relación entre el consumo de energía y el Producto Interno Bruto (PIB) para 113 países durante el periodo 1971 – 2004; Para ello, contribuyen metodológicamente a través de modelos semiparamétricos y el uso del consumo de energía como variable proxy de contaminación ambiental. Los autores encuentran que existe potencialmente evidencia de la CMK de energía, al estimar para tres subperiodos (1971 – 1981, 1982 – 1992, 1993 – 2004). No obstante, las estimaciones con respecto al tiempo muestran que no existe una evidencia sólida de la relación entre crecimiento económico y el consumo de energía¹⁵.

Para América Latina existen trabajos que estudian la hipótesis de la CMK; sin embargo, se destaca por completo dos trabajos. El primero desarrollado por Saravia (2002), el cual estudia la hipótesis de la CMK para 17 países de Latinoamérica, utilizando las emisiones de CO_2 y NO_2 como indicadores de calidad ambiental. Lo interesante de esta investigación es la estimación de los efectos que tiene la desigualdad en la distribución del ingreso y el desempeño institucional en el crecimiento económico, los cuales desaceleran el impacto positivo del crecimiento económico en la calidad ambiental alejando el punto óptimo y por ende postergando la relación negativa entre el crecimiento económico y el deterioro de los recursos naturales.

Por su parte, Romero y De Jesús (2016), investigan la relación entre el crecimiento

¹⁵ Debido al crecimiento que tiene el consumo de energía en el tiempo.

económico y el consumo de energía para 22 países de América Latina y el Caribe durante el periodo 1990 – 2011¹⁶; utilizando como base de datos información del Banco Mundial. Los resultados evidencian que no existe una relación en forma de U invertida entre el consumo de energía y el crecimiento económico (CMK de energía); por el contrario, muestran que en la región a medida que crecen sus económicas también lo hace el consumo de energía. Es por ello, que plantean políticas de eficiencia energética, la cual permita adoptar cambios en la estructura productiva y promover medidas para incrementar el uso de energías no contaminantes.

En Colombia se destaca el estudio desarrollado Restrepo, Ramirez y Montoya (2005), el cual busca comprobar la hipótesis de la CMK para Colombia durante el periodo 1970 – 2000, utilizando CO_2 , SO_2 y DBO como indicadores ambientales. Los autores solo encuentran un efecto positivo entre crecimiento económico y el deterioro ambiental, es decir, solo la fase creciente de CMK. Por otro lado, un incremento de la desigualdad reduce la contaminación (especialmente para el SO_2); según ellos, la población con mejores ingresos tiene menores preferencias por el deterioro ambiental. Por último, concluyen que existen otros factores que determinan la contaminación ambiental, tales como políticas de regulación para el cuidado del medio ambiente y mejorar los derechos de propiedad de los recursos naturales, los cuales permitan generar crecimiento económico sin incrementar la degradación ambiental.

¹⁶ Argentina, Barbados, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.

6. Análisis de datos

Se utiliza la base de datos del Banco Mundial (The World Bank, 2020), la cual contiene información de carácter global en diversas cronologías, asociada a los Indicadores del Desarrollo Mundial (IDM); información suministrada a través de fuentes oficiales de los diferentes países. Cabe resaltar que esta base de datos agrupa una gran cantidad de información (actualizada y precisa) con el fin de conocer el desarrollo mundial de los diferentes países y regiones. La base está constituida con información de siete regiones para un total de 264 países, (incluyendo pequeños estados); para este trabajo se utiliza un total de 217 economías (se eliminan las regiones). Así mismo, esta base se divide en 21 indicadores (genero, salud, educación, agricultura y desarrollo rural, cambio climático, ciencia y tecnología, desarrollo social, desarrollo urbano, eficacia de la ayuda, energía y minería, infraestructura, medio ambiente, pobreza y política económica y deuda). A continuación, se presentan la descripción de las variables utilizadas en esta investigación.

6.1 Variables dependientes

- **Emisiones de dióxido de carbono CO₂ (kt):** son las emisiones que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento, incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas, se encuentra medida en kilotoneladas (kt) la cual es igual a 1.000 toneladas.
- **Emisiones de óxido nitroso N₂O:** en miles de toneladas métricas, las emisiones de óxido nitroso N_2O son las derivadas de la quema de biomasa agrícola, las actividades industriales, la gestión ganadera y procesos biológicos de suelos y océanos, es considerado como un gas de efecto invernadero, perturbando el efecto radioactivo de la tierra y por ende de su temperatura, estas emisiones son usadas como factor de relación entre una actividad y su impacto ambiental. La conversión a equivalentes con el dióxido de carbono CO_2 , que es la mayor fuente de gas de efecto invernadero, permite comparar otros gases y obtener su

equivalencia, con el fin de establecer sus contribuciones individuales y totales al calentamiento global.

6.2 Variables independientes

- **PIB per cápita (a precios constantes 2011 US\$):** PIB per cápita basado en la paridad de poder adquisitivo (PPA), es un producto interno bruto convertido en dólares internacionales utilizando tasas de paridad de poder adquisitivo, un dólar internacional tiene el mismo poder adquisitivo sobre el PIB que el dólar estadounidense en los Estados Unidos, el PIB a precios del comprador es la suma del valor añadido bruto de todos los productores residentes en el país más cualquier impuesto sobre los productos y menos las subvenciones no incluidas en el valor de los productos, se calcula sin hacer deducciones por depreciación de activos fabricados o por agotamiento y degradación de los recursos naturales.
- **Uso de energía (kg equivalente de petróleo):** por PIB de 1.000 dólares (PPA constante de 2010), se refiere al uso de energía primaria antes de la transformación a otros combustibles de uso final, que es igual a la producción tradicional más las importaciones y los cambios en las existencias, menos las exportaciones y los combustibles suministrados a los buques y aeronaves que se dedican al transporte internacional.
- **Degaste recursos naturales :** es el ahorro ajustado por agotamiento de los recursos naturales como porcentaje del Ingreso Nacional Bruto (INB), se entiende por agotamiento a la suma del agotamiento forestal neto (es la renta de recursos unitarios por el exceso de cosecha de madera redonda sobre el crecimiento natural), más el agotamiento de la energía (relación entre el valor del stock de recursos energéticos y la vida útil restante de la reserva, cubre el carbón, el petróleo crudo y el gas natural) y el agotamiento mineral (es la relación entre el valor del stock de recursos minerales y la vida útil restante de

la reserva, cobre estaño, oro, plomo, zinc, hierro, cobre, níquel, plata, bauxita y fosfato).

- **Emisiones de metano CH_4 (kt):** medida en kilotoneladas (kt) la cual es igual a 1.000 toneladas, son las emisiones derivadas de actividades humanas como la agricultura, se producen debido a la descomposición o digestión de la materia orgánica y la producción industrial de metano, en esta investigación se realiza la equivalencia del metano con el CO_2 , con el fin de comparar las contribuciones efectivas de diferentes gases, si se tiene en cuenta que un kilogramo de metano es 21 veces más eficaz para atrapar el calor en la atmósfera terrestre que un kilogramo de dióxido de carbono en 100 años.
- **Valor agregado del sector servicios (a precios constantes 2010 US\$):** corresponden a las divisiones 50-99 de la ISIC, que incluyen valor agregado en el comercio al por mayor y al por menor (incluidos hoteles y restaurantes), el transporte y los servicios gubernamentales, financieros, profesionales y personales, como educación, atención médica y servicios inmobiliarios, también se incluyen los cargos por servicios bancarios imputados, los derechos de importación y cualquier discrepancia estadística observada por los compiladores nacionales. El origen industrial del valor agregado está determinado por la Clasificación Industrial Estándar Internacional (IC), revisión 3 o 4.
- **Valor agregado de la industria, incluida la construcción (a precios constantes 2010 US\$):** corresponde a las divisiones 10-45 de la ISIC e incluye la fabricación (divisiones 15-37 del ISIC), comprende al valor agregado en minería, manufactura, construcción, electricidad, agua y gas; el origen de este valor está determinado por la Clasificación Industrial Estándar Internacional (ISIC), revisión 3.
- **Valor agregado industria manufacturera (a precios constantes de 2010 US\$):** El término industrias manufactureras se refiere a las industrias pertenecientes a las divisiones 15 a 37 de la CIIU, donde el valor agregado es la producción neta

de un sector después de sumar todos los productos y restar los insumos intermedios, se calcula sin hacer deducciones por depreciación de bienes manufacturados o por agotamiento y degradación de recursos naturales, el origen del valor agregado de determina a partir de la CIIU, Revisión 3.

- **Ahorro ajustado gasto en educación (% del INB):** el término gastos en educación se refiere a los gastos operativos corrientes en educación, que incluye sueldos y salarios, y excluyen inversiones de capital en edificios y equipos.
- **Población total:** se refiere a todos los residentes independientemente de su estatus legal o ciudadanía, estas estimaciones de población se basan generalmente en censos nacionales de población y las estimaciones para los años anteriores y posteriores al censo son interpolaciones o extrapolaciones basadas en modelos demográficos, (los errores pueden ser sustanciales debido a los límites en el transporte, las comunicaciones y otros recursos necesarios para llevar a cabo y analizar un censo completo, los cuales están sujetos a políticas, definiciones y conceptos internos de cada país).

7. Metodología de investigación

La presente investigación se basa en el nivel de investigación explicativo, en el cual los componentes se ajustan con la investigación no experimental (conocida como investigación “ex post facto”), debido a que busca cuantificar y comprobar empíricamente la existencia de la CMK, empleando variables no manipuladas que permitan ajustarse a este tipo de investigación. Para ello, se utiliza el software estadístico STATA, debido a la facilidad de descarga y manejo de la base de datos empleada. Siguiendo a Stern y Common (2001), se estima el logaritmo cuadrático de la CMK a través de un panel de datos, como se presenta a continuación:

$$\ln(E_{it}) = \alpha_i + \nu_t + \beta_1 \ln(PIB)_{it} + \beta_2 \ln(PIB)_{it}^2 + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln X_{j,it} + u_{it} \quad [1]$$

Donde E_{it} indica la variable de contaminación ambiental (CO_2 y N_2O), PIB es el Producto Interno Bruto per cápita, $X_{j,it}$ es la matriz de variables que intervienen en la contaminación ambiental (emisiones de metano, uso de energía, valor agregado del sector servicios, valor agregado de la industria, valor agregado de la manufactura, desgaste de los recursos naturales, educación y población), u_{it} es el termino no observable (perturbación aleatoria), α_i es la heterogeneidad no observable para los países (unidades de sección cruzada) y ν_t incluye la heterogeneidad no observable en el tiempo. Así mismo, β representa los estimadores y los subíndices i, t indican observaciones para distintos individuos (países) y periodos de tiempo.

Para estimar la ecuación anterior se plantea utilizar tres alternativas. La primera conocida como *efectos fijos* establece que la heterogeneidad no observada (α_i) es una característica propia de los individuos (países); es por ello, que el estimador ignora información de los cambios de las variables en el tiempo (Wooldridge, 2015), es decir, α_i está correlacionado con las variables independientes, lo que conlleva a utilizar los

promedios en el tiempo de las variables, para luego efectuar una regresión de corte transversal y así eliminar la heterogeneidad no observada. La segunda alternativa surge del resultado en el cual la heterogeneidad no observable de los individuos (α_i) no está correlacionada con las variables independientes, en otras palabras, α_i y ν_i son componentes de la perturbación aleatoria, esta se conoce como *efectos aleatorios*. No obstante, para establecer si la heterogeneidad no observada en los individuos (países) está correlacionada con las variables independientes y esto a su vez genera estimadores eficientes se utiliza la prueba de *Hausman*. Esta prueba compara los estimadores α_i y ν_i si bajo los supuestos de efectos aleatorios, si la diferencia no es significativa las estimaciones para efectos fijos y aleatorios son similares, es decir, no se rechaza. Si las estimaciones no son similares se debe a que las variables independientes están correlacionadas con α_i (no se cumple el supuesto fundamental de efectos aleatorios); por lo tanto, se utilizan las estimaciones de efectos fijos. Finalmente, la tercera alternativa consiste como en *efectos fijos* en eliminar la heterogeneidad no observada a través de estimar el rezago entre las variables (método conocido como *primera diferencias*); sin embargo, esta alternativa tiene un costo en la pérdida de observaciones y a su vez se debe modificar la interpretación de sus resultados. Para calcular el PIB per cápita (ingreso) que genera los mayores niveles de contaminación (punto de inflexión) se utiliza la siguiente ecuación:

$$\gamma = \exp(-\beta_1/2\beta_2) \quad [2]$$

8. Resultados de la investigación

La tabla 1 muestra los resultados de las tres alternativas de estimación para las emisiones de dióxido de carbono (CO_2); así mismo, se presenta al número de observaciones, R cuadrado¹⁷, R cuadrado within¹⁸, R cuadrado between¹⁹, R cuadrado overall²⁰ y la prueba de Hausman. Las estimaciones comprueban que existe una relación de U-invertida entre las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y el PIB per cápita para primeras diferencias ($\beta_1 = 2.1522$; $\beta_2 = -0.1107$), efectos aleatorios ($\beta_1 = 3.5633$; $\beta_2 = -0.1420$) y efectos fijos ($\beta_1 = 3.3755$; $\beta_2 = -0.1305$), siendo estadísticamente significativas al 1%. Esto también se puede comprobar en el gráfico 3, el cual muestra la estimación de la Curva Medioambiental de Kuznets; cómo se puede observar, existe un efecto decreciente del ingreso (PIB per cápita) en las emisiones CO_2 ; sin embargo es muy bajo, es decir, un incremento en el ingreso disminuye muy poco las emisiones de CO_2 , lo cual conlleva a puntos de inflexión implícitos demasiados elevados²¹ para la literatura existente²².

¹⁷ Se utiliza en primeras diferencias, debido a que esta alternativa se emplea el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

¹⁸ Estima el efecto de la variabilidad en las variables independientes sobre las emisiones de contaminación ambiental (variable dependiente) en el tiempo.

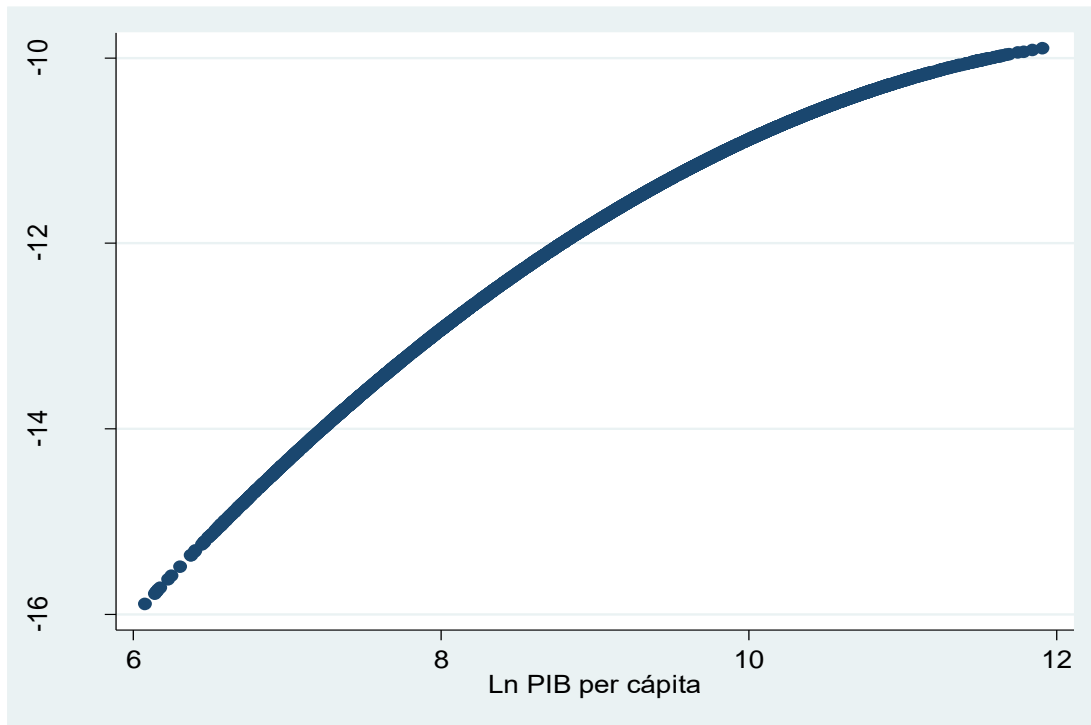
¹⁹ Estima el efecto de la variabilidad en las variables independientes sobre las emisiones de contaminación ambiental (variable dependiente) entre individuos (países).

²⁰ Estima el efecto total (within y between) de la variabilidad en las variables independientes sobre las emisiones de contaminación ambiental (variable dependiente).

²¹ \$16,662 dólares para primeras diferencias, \$281,203 dólares para efectos aleatorios y \$413,722 dólares para efectos fijos.

²² Stern y Common (2001), obtienen este tipo de estimaciones para países desarrollados y en desarrollo con puntos de inflexión de \$101,666 y \$908,178 dólares respectivamente, lo cual no contradice los resultados.

Gráfico 3. Curva Medioambiental de Kuznets para el logaritmo natural de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).



Fuente: Elaboración propia con base en información del Banco Mundial.

En materia de producción de energía, un incremento del 1% en el uso de energía aumenta las emisiones dióxido de carbono en 0.827%, 0.895% y 0.918% para primeras diferencias, efectos aleatorios y efectos fijos respectivamente. Como era de esperarse, un aumento del 1% en el ahorro por evitar el agotamiento de los recursos naturales generados de la actividad productiva reduce la contaminación ambiental por CO₂ en 0.011% para efectos aleatorios y 0.0108% para efectos fijos. Con respecto a la actividad económica, los resultados muestran que las actividades de industria y servicios tienen una elasticidad promedio positiva en las emisiones de CO₂ (excepto en primeras diferencias); no obstante, la actividad industrial manufacturera tiene un efecto negativo, esto se debe principalmente, a que esta actividad económica se caracteriza por procesos productivos que reducen parcialmente la contaminación ambiental. El ahorro en el gasto de educación y la población incrementan las emisiones de dióxido de carbono. Finalmente, al aplicar la prueba de *Hausman* se establece que la heterogeneidad no observada entre países esta correlacionada con las variables independientes, esto

implica que se debe utilizar el método de efectos fijos, cuya variabilidad en la contaminación está explicada principalmente por la variabilidad en las variables independientes entre países (*R* cuadrado between).

Tabla 1, Resultados de estimación para las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

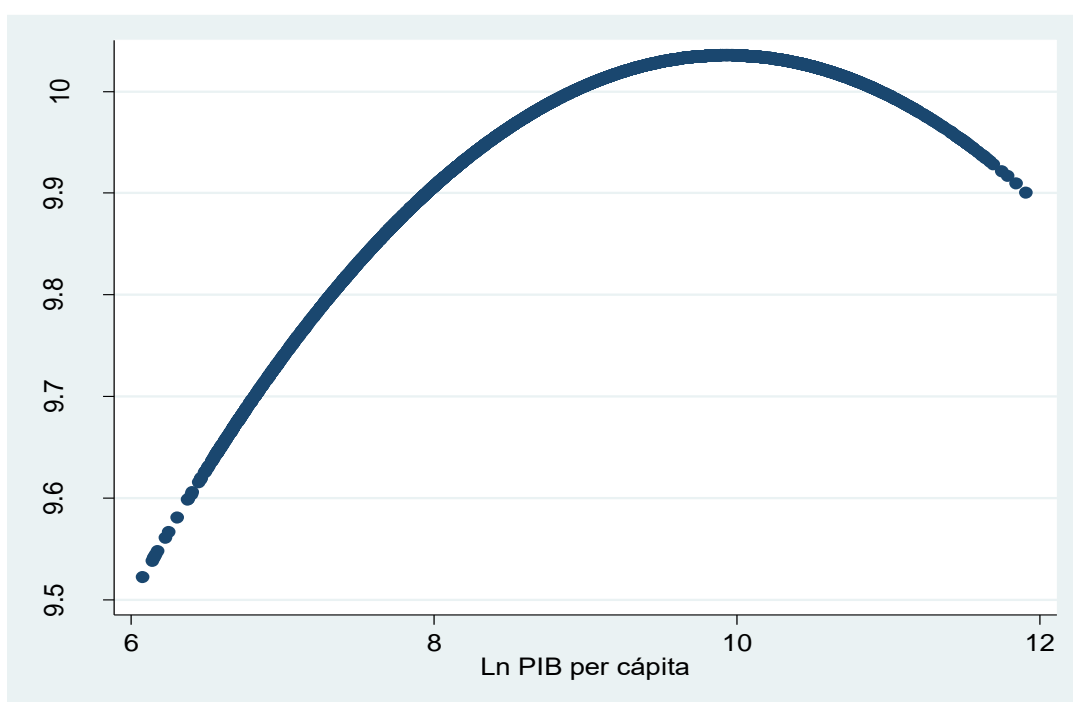
Ln (Dióxido de Carbono)	Primeras diferencias	Efectos aleatorios	Efectos fijos
Ln (PIB)	2.1522*** (0.4400)	3.5633*** (0.1773)	3.3755*** (0.1963)
Ln (PIB) cuadrado	-0.1107*** (0.0234)	-0.1420*** (0.0081)	-0.1305*** (0.0087)
Ln (Emisión Metano)	0.0568*** (0.0176)	0.1100*** (0.0195)	0.1407*** (0.0208)
Ln (Uso de energía)	0.8273*** (0.0410)	0.8955*** (0.0267)	0.9182*** (0.0301)
Ln (PIB Servicios)	-0.1112* (0.0620)	0.1086*** (0.0353)	0.0541 (0.0403)
Ln (PIB Industria)	0.1043** (0.0520)	0.2610*** (0.0342)	0.2837*** (0.0380)
Ln (PIB Manufacturera)	-0.0446 (0.0344)	-0.2305*** (0.0198)	-0.2519*** (0.0202)
Ln (Educación)	0.0031 (0.0182)	0.1156*** (0.0133)	0.1130*** (0.0132)
Ln (Población)	0.7017*** (0.2191)	0.7511*** (0.0599)	0.9008*** (0.0765)
Ln (Recursos Naturales)	0.0019 (0.0033)	-0.0111*** (0.0031)	-0.0108*** (0.0031)
N observaciones	1975	2124	2124
R cuadrado	0.208	-	-
R cuadrado (within)	-	0.776	0.778
R cuadrado (between)	-	0.931	0.918
R cuadrado (overall)	-	0.935	0.915
Test Hausman	-	-	268.29
Prob (Chi2)	-	-	(0.0000)

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

Fuente: Elaboración propia con base en información del Banco Mundial.

De igual manera, el gráfico 4 presenta la estimación de la Curva Medioambiental de Kuznets para el óxido nitroso (N_2O). Se comprueba que existe relación de U-invertida entre las emisiones de N_2O y el PIB per cápita especialmente para efectos fijos ($\beta_1 = 3.3755$; $\beta_2 = -0.1305$) siendo estadísticamente significativo al 1% ; no obstante, su efecto no es tan bajo con respecto a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), lo cual genera un punto de inflexión implícito de \$20.786 dólares.

Gráfico 4. Curva Medioambiental de Kuznets para el logaritmo natural de las emisiones de óxido nitroso (N_2O).



Fuente: Elaboración propia con base en información del Banco Mundial.

Así mismo, la tabla 2 presenta las estimaciones para el óxido nitroso (N_2O). Los resultados muestran que un incremento en 1% en el uso de energía aumenta la contaminación por óxido nitroso en 0.167%; en materia de protección de los recursos naturales un aumento de 1% en el ahorro para evitar agotamiento de los recursos naturales reducen las emisiones de N_2O en 0.043%. Las estimaciones para la actividad económica muestran que un aumento de la industria y los servicios²³ tiene un efecto

²³ A pesar de no ser estadísticamente significativo.

negativo; todo lo contrario, sucede con la industria manufacturera, la cual tiene un efecto positivo en las emisiones de óxido nitroso. Por último, el gasto en educación y la población tiene efectos contrarios, el primero incrementa la emisión de N_2O y el segundo la reduce. Finalmente al aplicar la prueba de *Hausman*, se determina que el método de efectos fijos es consistente, debido a la correlación que existe entre las variables independientes y la heterogeneidad no observada entre países; así mismo, en términos de variabilidad, se puede observar que en el método de efectos fijos el 86% de la variabilidad en las emisiones de N_2O se explica por los cambios en las variables independientes entre países (*R* between).

Tabla 2. Resultados de estimación para las emisiones de óxido nitroso (N_2O).

Ln (Dióxido de Nitrógeno)	Primeras diferencias	Efectos aleatorios	Efectos fijos
Ln (PIB)	-0.5774 (0.4052)	0.2562 (0.1945)	0.6860*** (0.2170)
Ln (PIB) cuadrado	0.0320 (0.0215)	-0.0221** (0.0090)	-0.0345*** (0.0096)
Ln (Emisión Metano)	1.1905*** (0.0162)	1.0258*** (0.0215)	1.0161*** (0.0230)
Ln (Uso de energía)	-0.0312 (0.0378)	0.0680** (0.0292)	0.1671*** (0.0332)
Ln (PIB Servicios)	0.0169 (0.0571)	0.0251 (0.0387)	-0.0159 (0.0446)
Ln (PIB Industria)	-0.1304*** (0.0479)	-0.0479 (0.0375)	-0.0538 (0.0420)
Ln (PIB Manufacturera)	0.1413*** (0.0317)	0.0836*** (0.0218)	0.0540** (0.0223)
Ln (Educación)	0.0414** (0.0168)	0.0758*** (0.0147)	0.0644*** (0.0146)
Ln (Población)	0.2293 (0.2018)	-0.1522** (0.0653)	-0.2694*** (0.0846)
Ln (Recursos naturales)	-0.0054* (0.0031)	-0.0488*** (0.0034)	-0.0431*** (0.0035)
N observaciones	1975	2124	2124
R cuadrado	0.735	-	-
R cuadrado (within)	-	0.564	0.564

R cuadrado (between)	-	0.902	0.856
R cuadrado (overall)	-	0.904	0.860
Test Hausman	-	-	961.11
Prob (Chi2)	-	-	(0.0000)

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

Fuente: Elaboración propia con base en información del Banco Mundial.

9. Conclusiones y recomendaciones

Es importante reconocer que esta investigación busca construir una estructura formal a través de una base inestable de causalidad, la formalidad juega un papel fundamental en el análisis económico; sin embargo, una visión general conlleva a que el campo del conocimiento abarque más allá de ella (Kuznets, 1955). Por ello, este trabajo busca contribuir en enriquecer el análisis entre el crecimiento económico y los efectos en el medioambiente, los cuales son resultados de incentivos que hacen al análisis económico un complemento.

Los resultados muestran una relación en forma de U invertida entre la contaminación ambiental (CO_2 y N_2O) y el crecimiento económico (se comprueba la CMK); sin embargo, se encuentran puntos de inflexión implícitos elevados con respecto a los niveles de ingresos para el conjunto de países (principalmente para las emisiones de dióxido de carbono), es decir, el efecto entre contaminación y el nivel de ingreso presenta rendimientos decrecientes muy bajos. En materia de uso de energía se encuentra una elasticidad promedio positiva con respecto a los indicadores de contaminación (0.918% y 0.167% para CO_2 y N_2O respectivamente); igualmente sucede con la variable proxy de protección ambiental (ahorro por evitar el agotamiento de los recursos naturales), la cual reduce las emisiones de dióxido de carbono y óxido nítrico. Con respecto a la actividad económica, los resultados muestran diferentes efectos para ambos indicadores de contaminación; un incremento de 1% en el PIB del sector industrial incrementa las emisiones de CO_2 y reduce las emisiones de N_2O .

La prueba de Hausman muestra que el método de efectos fijos genera estimadores consistentes, ya que la heterogeneidad no observada entre países está correlacionada con las variables independientes; sin embargo, es posible que exista diferentes efectos para diferentes muestras; por ello, es recomendable realizar diversas estimaciones para varias regiones, que permita captar de mejor manera el efecto del ingreso en la contaminación ambiental.

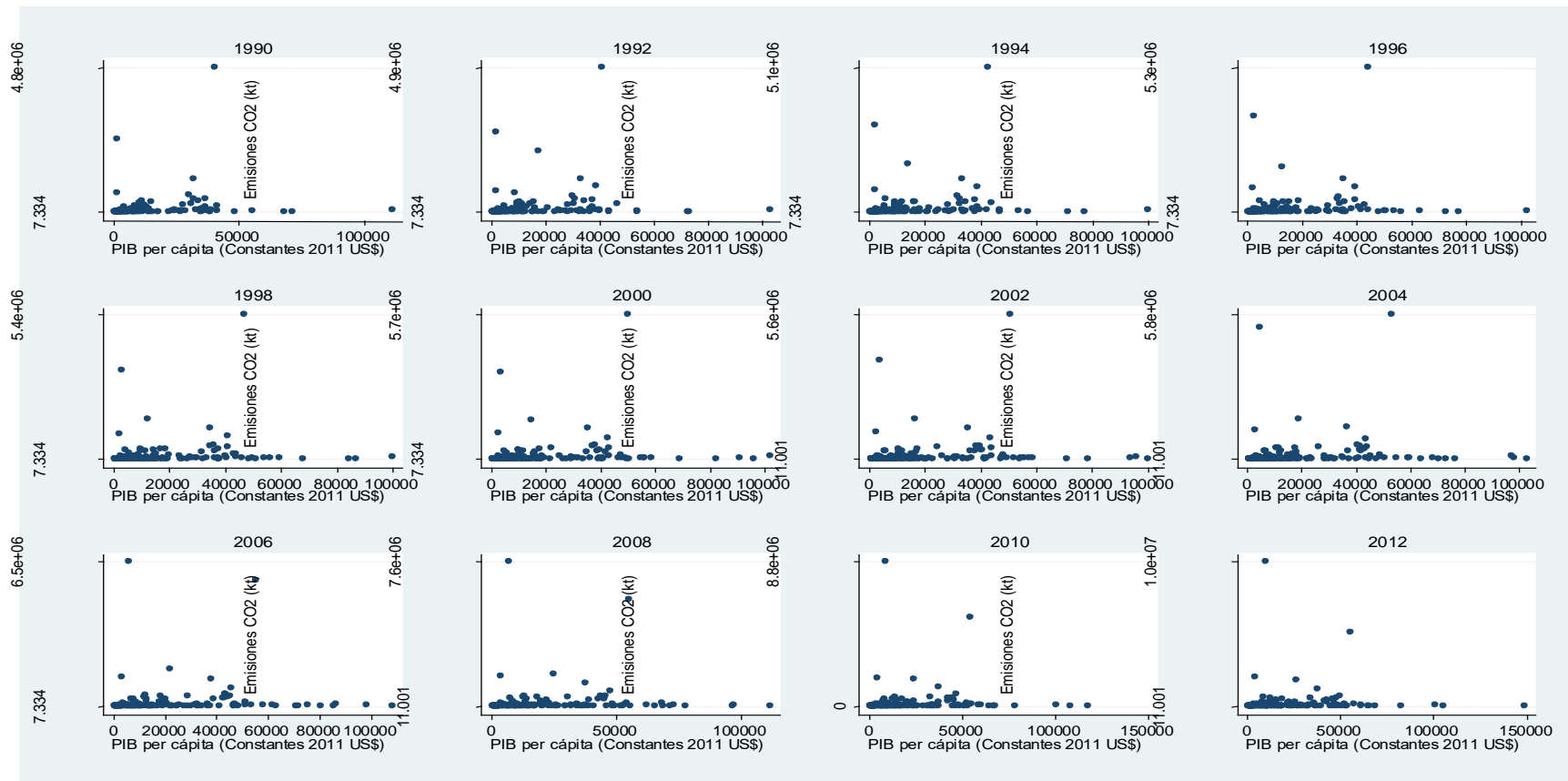
Por último y no menos importante la solución a esta problemática planteada va más allá del uso de bases de datos representativas o modelos cada vez más sofisticados, la idea es establecer una posible estructura que pueda determinar los efectos del crecimiento económico en la contaminación ambiental en el corto como en el largo plazo; no obstante, inferir este efecto es complejo debido a las diversas decisiones de los agentes (países); sin embargo, el contribuir a la revisión y evolución de este tema en el tiempo, hace que se pueda establecer un seguimiento y sobre todo estructurar lineamientos de política que se ajuste en cierta medida a la evidencia empírica.

Bibliografía

- Bruyn, S., van den Bergh, J., & Opschoor, J. (1998). *Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves*.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1991). Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research*.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377.
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, 45(1), 1-28.
- Luzzati, T., & Orsini, M. (2009). *Investigating the energy-environmental Kuznets curve*.
- Organización de Naciones Unidas. (2015). XXI Conferencia Internacional de Cambio Climático.
- Restrepo Correa, F., Vasco Ramírez, A., & Pérez Montoya, C. (2005). La Curva Medioambiental de Kuznets: Evidencia empírica para Colombia. *Semestre Económico*, 8(15).
- Romero, P., & De Jesús, J. (2016). *Economic growth and energy consumption: The Energy-Environmental Kuznets Curve for Latin America and the Caribbean*.
- Selden, T., & Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*(27), 147-162.
- Shafik, N., & Bandyopadhyaya, S. (1992). *Economic Growth and Environmental Quality Time-Series and Cross-Country Evidenc*.
- Shafir, B. (1992). *Economic Growth and Environmental Quality-Time-Series and Cross-Country Evidence*.
- Stern, D., & Common, M. (2001). Is there an environmental Kuznets curve for sulphur? *Journal of Environmental Economics and Management*(41), 162-178.
- The World Bank*. (18 de 5 de 2020). Obtenido de The World Bank: <http://www.datos.bancomundial.org>
- Wooldridge, J. (2015). *Introducción a la Econometría* (Vol. 5). México, D.F.: CENAGE Learning.

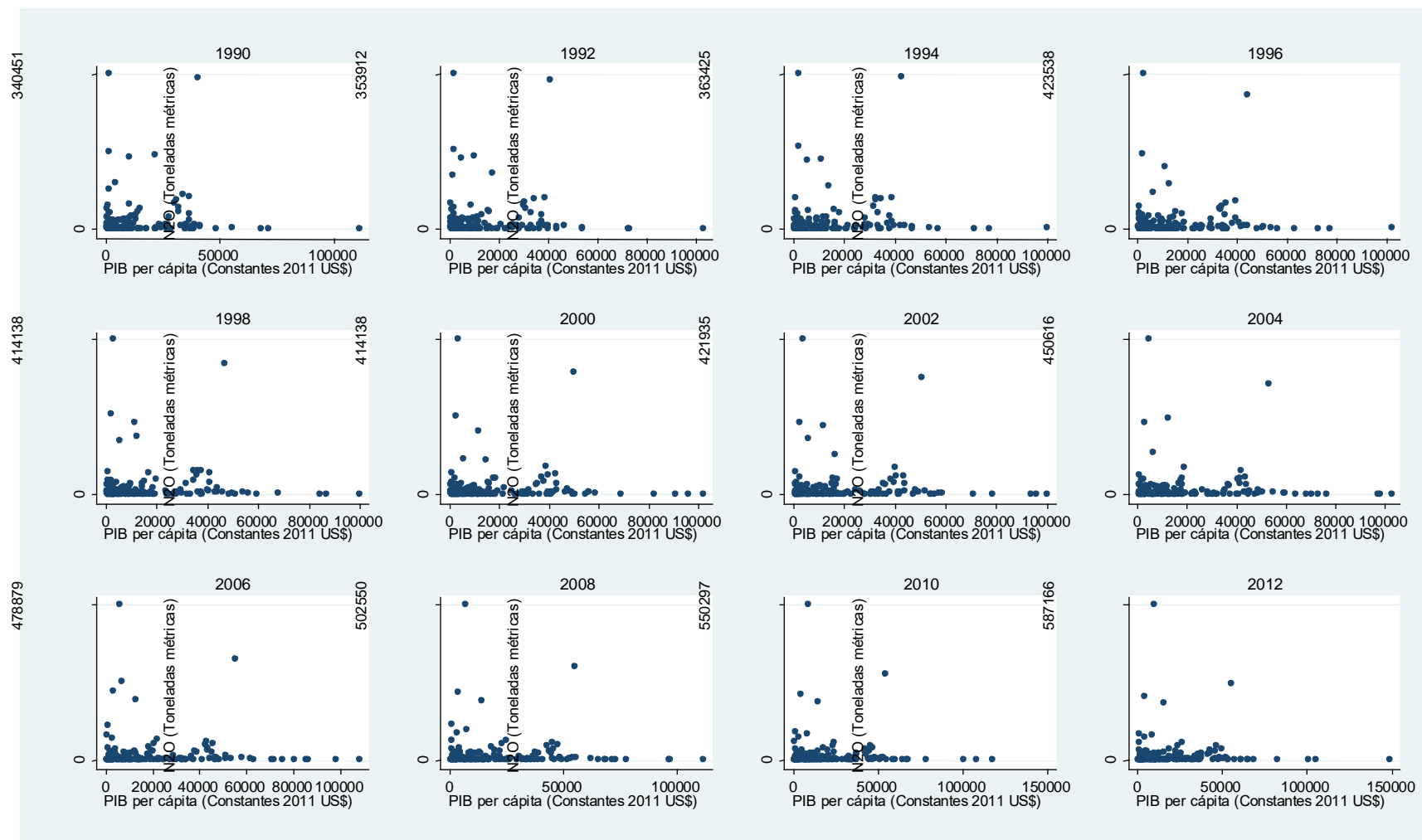
Anexos

Gráfico 5. Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) durante el periodo 1990 – 2012.



Fuente: Elaboración propia con base en información del Banco Mundial.

Gráfico 6. Emisiones de óxido nitroso (N₂O) durante el periodo 1990 – 2012.



Fuente: Elaboración propia con base en información del Banco Mundial.