



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Jurídica, Social y Administrativa.

Carrera de Economía

“Contraste medioambiental del crecimiento económico, una evaluación econométrica de la curva ambiental de Kuznets mediante técnicas de umbral”

**Trabajo de Titulación Previo a la Obtención
del Título de Economista.**

AUTOR:

Dennys Alexander Castillo Ochoa

DIRECTOR:

Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa. M.Sc.

Loja – Ecuador

2023

Loja, 16 de marzo del 2023

Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa. Mg.Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Contraste medioambiental del crecimiento económico, una evaluación econométrica de la curva ambiental de Kuznets mediante técnicas de umbral”**, previo a la obtención del título de Economista, de la autoría del estudiante **Dennys Alexander Castillo Ochoa**, con **cédula de identidad Nro. 1105642258**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa. Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Dennys Alexander Castillo Ochoa** declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1105642258

Fecha: Loja, 16 de marzo de 2023

Correo electrónico: dennys.castillo@unl.edu.ec

Teléfono o celular: 0967913896

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, producción parcial o total, y/o publicación del texto completo, del trabajo de titulación

Yo, Dennys Alexander Castillo Ochoa, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación denominado “**Contraste medioambiental del crecimiento económico, una evaluación econométrica de la curva ambiental de Kuznets mediante técnicas de umbral**”, como requisito para optar por el grado de **Economista**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenido la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los catorce días del mes de marzo de 2023.

Firma:

Autor: Dennys Alexander Castillo Ochoa

Cédula: 1105642258

Dirección: Loja

Correo electrónico: dennys.castillo@unl.edu.ec

Celular: 0967913896

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Econ. Pablo Ponce Mg. Sc.

Presidente de Tribunal: Lic. Liliana de Jesús Matailo Yaguana

Integrante de Tribunal: Econ. Johanna Magaly Alvarado Mg. Sc

Integrante de Tribunal: Ing. Elizabeth Alexandra Lozano Mg. Sc

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación a mi familia. Un sentimiento especial de gratitud hacia mis padres, Silvio y Elida, cuyas palabras de aliento y empuje por la tenacidad resuenan en mis oídos.

A mis hermanas Noely y Guadalupe, quienes se han encontrado siempre a mi lado.

A mis amigos por permitirme aprender más de la vida a su lado. Esto es posible gracias a todos ustedes.

Dennys Alexander Castillo Ochoa

Agradecimiento

Mi agradecimiento sincero a la Carrera de Economía de la Facultad Jurídica Social y Administrativa de la Universidad Nacional de Loja, a sus docentes por cada uno de sus conocimientos y experiencias impartidas.

Al culminar con éxito la presente investigación expreso mi gratitud y estima a mi director de tesis Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa, Mg. Sc. por la acertada dirección, por su valiosa guía y colaboración en la dirección de esta tesis.

Además, expresar mis agradecimientos al Econ. Wilfrido Ismael Torres Ontaneda, Mg. Sc., invaluable al momento de estructurar y escribir este trabajo de titulación. Finalmente, me gustaría agradecer a todas las personas que han participado de cerca y de lejos en el desarrollo de este trabajo.

Dennys Alexander Castillo Ochoa

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación:	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tablas	viii
Índice de Anexos	ix
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	8
4.1 Antecedentes.....	8
4.2 Evidencia empírica	11
5. Metodología	15
5.1 Estrategia metodológica	15
5.2 Tratamiento de datos	15
5.3 Estrategia econométrica.....	21
5.3.1 Objetivo específico 1	21
5.3.2 Objetivo específico 2	22
5.3.3 Objetivo específico 3	26
6. Resultados	27
6.1 Objetivo específico 1	27
6.2 Objetivo específico 2	31
6.3 Objetivo específico 3	41
7. Discusión	45
7.1 Objetivo específico 1	45
7.2 Objetivo específico 2	48
7.3 Objetivo específico 3	52

8. Conclusiones	56
9. Recomendaciones	58
10. Bibliografía	60
11. Anexos	70

Índice de Figuras

Figura 1. Evolución temporal del PIB per cápita y las emisiones de CO ₂	28
Figura 2. Correlación gráfica del PIB per cápita y emisiones de CO ₂	29
Figura 3. Estadística LR gráfica por grupo de países.....	37

Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de variables.....	16
Tabla 2. Distribución de la muestra de países analizados.....	17
Tabla 3. Estadísticos descriptivos.....	18
Tabla 4. Estadístico de correlación y factor de inflación de varianza.....	20
Tabla 5. Prueba de sección transversal Pesaran (2015)	32
Tabla 6. Prueba de raíz unitaria CIPS Pesaran (2007) en niveles.....	33
Tabla 7. Prueba de raíz unitaria CIPS Pesaran (2007) en diferencias.....	34
Tabla 8. Prueba de cointegración de Westerlund (2007)	35
Tabla 9. Prueba de detección de umbral de PIB per cápita.....	36
Tabla 10. Prueba de significancia de umbral de PIB per cápita.....	37
Tabla 11. Prueba de regresión de umbral PIB per cápita.....	40
Tabla 12. Prueba de detección de umbral de impuesto ambiental.....	42
Tabla 13. Prueba de significancia de umbral de impuesto ambiental.....	42
Tabla 14. Resultados de regresión de umbral (Impuesto ambiental)	44

Índice de Anexos

Anexo 1. Regresión Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles	70
Anexo 2. Prueba de cointegración de Westerlund (2005).....	71
Anexo 3. Certificado de traducción del Abstract	72

1. Título

“Contraste medioambiental del crecimiento económico, una evaluación econométrica de la curva ambiental de Kuznets mediante técnicas de umbral”

2. Resumen

La economía mundial se multiplicó casi por cinco en los últimos cincuenta años, y debido a ese excesivo crecimiento tuvo un costo enorme para el medio ambiente. Tal es el caso que, en 2016 la contaminación del aire le costó a la economía mundial 5,7 billones de dólares, o el equivalente a 4,8 % del PIB mundial (Banco Mundial, 2016). Por lo cual, en función de esta problemática se realizó la evaluación y contraste medioambiental del crecimiento económico para 66 países distribuidos según su ingreso en el periodo de 1994 al 2019, usando datos obtenidos del Banco Mundial (2021), Estadísticas de la OCDE (2021), y el Pen World Table (2021). Mediante las estimaciones por mínimos cuadrados generalizados factibles, cointegración de Westerlund (2007), y el modelo no lineal de regresión de umbral Hansen (1999), se pudo constatar que existen efectos diferenciados entre estas estimaciones, al encontrar significancia de umbral, los resultados indican que el crecimiento económico conlleva al aumento de la contaminación, rechazando así la validez de la hipótesis ambiental de Kuznets, mientras que, los impuestos ambientales logran reducirla de manera tenue. Entre las principales recomendaciones destacan, promover la inversión nacional y extranjera de carácter verde, aplicar y reestructurar los sistemas regulatorios de cobro de impuestos ambientales.

Palabras Clave. Impuesto ambiental, medioambiente, Crecimiento económico, Política.

Codigos JEL. H23. F64. H43. F68.

2.1 Abstract

The world economy multiplied almost fivefold in the last fifty years, and due to this excessive growth it had an enormous cost for the environment (Organization of the United Nations, 2019). Such is the case that, in 2016, air pollution alone cost the world economy 5.7 trillion dollars, or the equivalent of 4.8% of world GDP (World Bank, 2016). Therefore, based on this problem, the purpose of the research work was to carry out the environmental evaluation and contrast of economic growth in 66 countries distributed according to their income for the period from 1994 to 2019, using data obtained from the World Bank (2021), OECD Statistics (2021), and the Pen World Table (2021) a contrast was made between the Feasible generalized least squares estimates, cointegration of Westerlund (2007), and the non-linear threshold regression model Hansen (1999), of which it was possible to verify that there are differentiated effects between these estimates, when finding threshold significance, the results indicate that economic growth leads to an increase in pollution, while environmental taxes manage to reduce it slightly. Among the main recommendations are promoting national and foreign investment of a green nature, applying and restructuring the regulatory systems for the collection of environmental taxes.

Keywords. Environmental tax, environment, Economic growth, Politics.

JEL codes. H23. F64. H43. F68.

3. Introducción

El crecimiento económico puede tener una fuerte repercusión sobre el medio ambiente, a medida que las economías crecen se produce un aumento en la demanda de recursos como energía, agua, tierra, materias primas y alimentos, lo que puede conducir a la explotación insostenible de las fuentes naturales, de esta forma se presencia un impacto negativo en la calidad del aire y del agua, la biodiversidad y los ecosistemas. El aumento de la producción y el consumo pueden generar más emisiones de gases de efecto invernadero de la capacidad de asimilación natural, lo que ha contribuido al cambio climático y al calentamiento global, afectando principalmente la salud humana y la de los ecosistemas. En las últimas décadas se ha constatado de mejor manera que el crecimiento económico ha traído tanto prosperidad como daños ambientales producto de la sobreutilización de los factores de producción (Morán & Gonzaga, 2017).

Sin embargo, se debe mencionar que esta no es una problemática actual, durante casi dos siglos de constante crecimiento, consumo, y generación de desechos, la demanda mundial agregada ya está aumentando por encima de la capacidad planetaria para garantizar agua y alimento adecuado (Paul et al., 2021). De manera similar, el Observatorio de Desarrollo Sostenible Cambio Climático (2019) menciona que, desde 1850 a nivel mundial el nivel del mar ha aumentado rápidamente gracias al acelerado derretimiento de los glaciares, mismos que han perdido entre el 20% y el 50% de su masa. Según el informe Groundswell se prevé que a nivel mundial ya se presenten puntos críticos de migración climática a partir de 2030 debido a la desertificación de los suelos productivos (Clement et al., 2021).

A nivel latinoamericano, Giglio et al. (2020) manifiestan que más del 40% de los bosques de América Latina y el Caribe se encuentran completamente deforestados a causa de labores agrícolas y explotación de recursos relacionados con la industria minera y petrolera. Para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020) la contaminación del aire es responsable de alrededor de 300,000 muertes prematuras al año en la región, y tiene un impacto especialmente negativo en la salud de los más vulnerables, como los niños y los ancianos. Adicional, la Organización Mundial del Trabajo (2020) expone que los impactos de la contaminación ambiental también reducen la productividad por aumento de estrés climático, esta reducción en productividad equivaldrá a que se pierdan alrededor de 2,5 millones de empleos a tiempo completo en América Latina y el Caribe debido a la falta de materia prima.

Ante ello han surgido múltiples debates sobre modelos y políticas de crecimiento económico sostenible que puedan ser compatibles con la protección del medio ambiente, aunque, la mayoría no consideran completamente las externalidades negativas. Por ello, durante la última década se han incorporado nuevos instrumentos económicos que sirven para la medición de la gestión ambiental y el reparo de estas externalidades (Lanzilotta, 2015). Precisamente los impuestos ambientales se pueden denominar como mecanismos de gestión ambiental que se presentan como alternativas más eficientes que las medidas regulatorias gubernamentales tradicionales (Vera, 2019). He de allí la importancia que posee este trabajo al estudiar a profundidad el impacto que tienen estos instrumentos, y de esta manera comprobar si el desarrollo basado en el incremento productivo en realidad resulta beneficioso para el conjunto de la sociedad.

Dicho esto, cabe mencionar que, los pioneros en promulgar las bases del estudio económico ambiental fueron Malthus (1798); Jevons (1865). Pero quizá sean Pigou (1920); Hotelling (1931); Coase (1959) los autores que realmente conjugaron las externalidades del crecimiento económico con la contaminación medioambiental, desde el marginalismo sus postulados ayudaron a implantar en la comunidad económica el referente del costo ambiental. Siendo los trabajos de Mishan (1967), Georgescu-Roegen (1971) y Beckerman (1972) quienes aportaron aún mayor claridad en los inicios de esta temática. No obstante, los autores más representativos de la década del 90 fueron Grossman & Krueger (1991); Kuznets (1992), mismos que defendían la teoría de que las concentraciones de CO₂ aumentan cuando se experimenta niveles bajos del ingreso nacional, pero, el efecto tiende a disminuir a mayores niveles de ingresos, lo que se conoce actualmente como curva medioambiental de Kuznets.

Ante este preámbulo, y apoyándose como referencia teórica precisamente en la hipótesis medioambiental de Kuznets, este trabajo de investigación se respalda también en evidencia empírica de trabajos relacionados a este tema, como los de Sánchez y Caballero (2019); (Cho, 2021). Anpilov et al. (2021); Vivas et al. (2021) quienes exponen que el crecimiento económico se acompaña de la mano del desarrollo tecnológico, manejo y explotación de los recursos disponibles logrando obtener un desarrollo sostenible en el largo plazo. Sin embargo, trabajos como los de Aye & Edoja (2017), (Zaghoudi & Maktouf, 2017), y Simionescu (2021) desmienten dicha hipótesis, concluyendo que el aumento del PIB, por el contrario de lo que se sugiere, conlleva a un aumento de la contaminación.

Para el desarrollo de este trabajo se plantearon las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿Cuál ha sido la evolución temporal del crecimiento económico y la contaminación ambiental?; 2) ¿Tiene el crecimiento económico un efecto significativo y directo en la contaminación ambiental?; 3) ¿Tiene la recaudación fiscal ambiental un efecto significativo y directo en la contaminación ambiental?. Lo que permitió plantear la hipótesis central de investigación: el crecimiento económico y la recaudación fiscal ambiental tienen un efecto significativo en la contaminación ambiental, y para comprobarla se establecieron tres objetivos específicos: 1) Analizar y determinar la evolución temporal y correlación gráfica del crecimiento económico y la contaminación ambiental por grupos de países en el periodo 1994-2019; 2) Contrastar el comportamiento del crecimiento económico en el medio ambiente por grupos de países mediante la utilización de técnicas econométricas de umbral; 3) Contrastar el comportamiento de la recaudación fiscal ambiental en el medio ambiente por grupos de países mediante la utilización de técnicas econométricas de umbral.

Resultado de esta investigación se determinó que existe un proceso no lineal entre el crecimiento económico y la contaminación presente en la mayoría de grupos de países, en el grupo de ingresos medio alto se halla evidencia de un efecto reductor al pasar un umbral de crecimiento, sin embargo, la reducción de la contaminación es diminuta. Por el lado de la industria y la exportación de recursos naturales también se halló resultados similares, dado que el crecimiento económico aumenta el nivel de polución, con lo que se descarta la validez de la hipótesis ambiental de Kuznets. Sin embargo, se encontró, un leve efecto reductor de los impuestos ambientales sobre las emisiones de CO₂ en la mayoría de grupos analizados. Por lo que se recomienda reestructurar los sistemas existentes de tasas impositivas ambientales y en algunos países que aún no poseen un marco regulatorio implementar este sistema de cobro de impuestos ambientales para ver resultados en el largo plazo.

Por último, este trabajo se encuentra estructurado de la siguiente forma: en el apartado 1) se detalla el título del trabajo; 2) se presenta el resumen; por consiguiente, en el apartado 3) se muestra la introducción; en el apartado 4) se aborda el marco teórico que sustenta este trabajo; en el apartado 5) se detallan los datos y la estrategia econométrica usada; en consecuencia, en el apartado 6) se presentan los resultados obtenidos de esta investigación; en el apartado 7); se contrastan los resultados del apartado anterior con resultados similares obtenidos por otros investigadores. En el apartado 8) se presentan las principales conclusiones a las que se llegó. Por otra parte, en el apartado 9) se plantean recomendaciones de política en

función de dichas conclusiones descritas. Casi por finalizar, en el apartado 10) se detalla la bibliografía. Finalmente, en el apartado 11) se muestran los anexos.

4. Marco Teórico

4.1 Antecedentes

Las corrientes teóricas que abordan el tema del crecimiento económico son bastas, y se remontan desde mucho tiempo atrás, pues el crecimiento económico ya se buscaba desde antes que la economía existiera como una ciencia formal, y este hecho es atribuido a los economistas clásicos. (Moralejo et al., 2007). Entre estos autores se destacan a Smith (1776), Ricardo (1835), Bastiat (1851), Schumpeter (1912), quienes postulaban que la acumulación de la riqueza era el único fin y medio para alcanzar la prosperidad económica. Sin embargo, dentro de estos postulados la producción no tomaba en cuenta los límites planetarios o ambientales, pues la economía clásica mantuvo como un objeto pasivo o sin importancia a la naturaleza, ya que considerarla como un insumo podría frenar el crecimiento económico de aquel entonces (Naredo, 2002).

Es por ello que dicha afectación ambiental ya es abordada dentro de lo que se conoce como economía ambiental, la cual surge como una subrama de la economía a principios del siglo XX (Román, 2016). Sin embargo, previa a esta existieron ciertas excepciones de autores que se pueden mencionar a Quesnay (1758) por ejemplo, quien abordó muy incipientemente en su época el papel que tenían los recursos de la naturaleza, dándole importancia para la generación de riqueza a la agricultura, creyendo así que era la única fuente no estéril de producción, ya que esta al ser usada implicaba una tasa de reposición que permitía garantizar la prolongación de las fuentes de recursos, contrario a la producción manufacturada que solamente consume recursos.

Por otro lado, Malthus (1798) en su obra Principios de Población que, quizá un tanto exagerada, también le otorgaba gran papel a la agricultura como medio de generación de riqueza, sin embargo, exponía el peligro que conlleva de por medio el uso de recursos naturales, pues estos tienden a crecer de manera aritmética y la población exponencialmente, dejando un escenario en donde no se podría contar con los recursos necesarios para la subsistencia de futuras generaciones, naturalmente esta teoría se descartó hace muchos años dada su invalidez, pero sigue sirviendo como ápice de esta corriente.

Mientras que, desde el punto de vista del marginalismo Jevons (1865) expone su perspectiva acerca de la sobreutilización de los recursos considerados como eficientes, esto debido al cambio energético por el que pasaba Europa, del carbón al vapor, para este autor

existe una paradoja inherente sobre el consumo de un recurso, conforme se cambia de un recurso al otro el aumento de la nueva demanda provocaría que exista sobreuso del mismo provocando el mismo efecto contaminante que tendría el anterior recurso. Dentro del pensamiento neoclásico Marshall (1890) bajo su perspectiva expone como el uso de factores como la tierra tiende a ser permanente cambiando únicamente la producción derivada de esta, considerándola como un factor natural invariante en el tiempo, situación que caracterizo mucho a esta escuela y el hecho de no considerar el coste marginal de la extracción de los recursos en el precio de venta del mercado

Dicho esto, y, ante la tenue pero creciente preocupación que generaba la contaminación ambiental, Pigou (1920) sienta las primeras bases del estudio de las externalidades ambientales, es así que la teoría pigouviana da lugar a la aplicación del principio básico del que contamina paga más, lo que propició a adoptar la responsabilidad fiscal ambiental, también llamada contabilidad verde, o contabilidad ambiental¹. No obstante, estos postulados se han visto sujetos a críticas² por la concepción del problema y a la subjetividad con la que se plantea contrarrestar los efectos contaminantes. Hotelling (1931) fue uno de los detractores de Pigou, quién desde su punto de vista el valor marginal de los recursos no renovables, deben ser medibles por un sistema de precios para que permita la eficaz extracción los recursos y garantizar su subsistencia, para ello explica que el valor neto del sobrante no extraído, tiene que regirse a la tasa de interés del mercado y esto equilibra la racionalidad de la extracción dejando un punto óptimo de conservación.

De igual manera, Coase (1959) se alejaba de la postura de Pigou considerándola desacertada, para este, la internalización de las externalidades se da gracias al costo social y ambiental que se refleja en el precio que consideren adecuado las partes afectadas, sin la intervención de un ente regulador central. Por otra parte, Boulding (1966) en su trabajo expone como la econosfera, o el mundo, posee una visión particularmente abierta de los recursos de la tierra, consumiendo y depredando sin preocuparse por la disposición futura de la capacidad de asimilación de los residuos derivado de la extracción como si no hubiese un límite, a lo que

¹ Estos denominados sistemas contables tratan de incorporar dentro de la renta nacional algunos indicadores que recojan el estado de deterioro o de conservación de los recursos naturales y ambientales de un país determinado (Torreiro, 2004).

² Correa (2003) y De la Ossa et al. (2007)

denominó la economía del cowboy, analogía que se otorgaba a este ritmo de producción por la forma en que los vaqueros se desenvuelven en los bastos llanos sin fin ni preocupaciones.

Similar a la preocupación por la conservación ambiental y por la responsabilidad social de las externalidades económicas Mishan (1967) también resalta el costo marginal social que tienen que pagar las personas producto del incremento de las actividades productivas y que no se asocian dentro de los costos tradicionales de las mismas, por lo que aboga por establecer un sistema de precios a la contaminación. A inicios de la década del 70, Baumol & Oates (1971) exponían la necesidad que existía de crear un sistema de precios directo para poder contrarrestar las externalidades producto de la actividad económica, a diferencia de la teoría pigouviana, este sistema estaba basado en valores referenciales de cierto recurso y la probabilidad de contaminación, mas no del valor marginal neto. Postulados con los que de cierta forma compartía Georgescu-Roegen (1971) keynesiano y que estaba en contra de la forma neoclásica de abordar el problema climático.

Por el contrario, Beckerman (1972) describe como el crecimiento económico no está ligado directamente a la degradación ambiental, puesto que, esta puede disminuir producto de los mayores ingresos percibidos. Mas adelante Grossman & Krueger (1991) plantean considerando el efecto liberalizador de la economía, como una reducción de las barreras comerciales afectará generalmente al medio ambiente al expandir la escala de la actividad económica, al alterar la composición de la actividad económica y al provocar un en las técnicas de producción. Sin embargo, es Kuznets (1992) quien unifica dos problemáticas, por un lado, aborda el crecimiento económico y por el otro la relación que este pueda tener en el medioambiente, su hipótesis asume una relación funcional con forma de U invertida, siendo el corto plazo el periodo donde el crecimiento económico genera una mayor afectación ambiental, pero en el largo plazo los efectos se atenúan gracias a que las economías disponen de mayores recursos económicos para hacer frente a la contaminación.

Orientados bajo esta corriente Shafik & Bandyopadhyay (1992) en su investigación econométrica y empírica examinan el crecimiento económico y la contaminación ambiental, en dónde pueden comprobar que, el comercio, la deuda y otras variables de política macroeconómica tienen poco efecto sobre el medio ambiente, destacan además el papel de las políticas e inversiones para reducir dicha degradación. Por su parte, Pearce & Warford (1993) también destacan la importancia de las políticas públicas para lograr el crecimiento sostenible.

Mientras que, Arrow et al. (1995) exponen que el crecimiento económico no es el causal principal de la degradación ambiental, para estos autores lo que importa es lo que conlleva el crecimiento, es decir la composición de los insumos y los productos, este contenido está determinado por las instituciones que rigen a la economía. De manera contraria, Ekins (1997) analiza la hipótesis ambiental de Kuznets, mas no se evidencia la existencia de la forma de U invertida, por el contrario, se halla una relación que aumenta monótonamente; pues la mayor parte de la población mundial todavía está en la sección de la curva que está aumentando. Finalmente, Torras & Boyce (1998) contrariamente exponen que, el impacto del crecimiento económico en la conversión de tierras agrícolas si tiende a seguir la forma de una curva U invertida, aceptando la hipótesis de Kuznets.

4.2 Evidencia empírica

Entrando en la justificación empírica de este trabajo, se detalla un compendio de las investigaciones relacionadas con la contaminación ambiental, impuestos ambientales y el crecimiento económico, para ello se lleva a cabo una división, mostrando en primer lugar la sección que aglutina la literatura empírica que obtiene resultados positivos para esta relación, y en segundo lugar la que muestra resultados negativos, esto con el fin de facilitar la comprensión del contenido. Una vez hecho este preámbulo se da paso a la primera sección.

Empezando por el trabajo de Wang (2012), quien entre 1971 y 2007, en 98 países, usando técnicas de umbral, halla que el crecimiento económico afecta negativamente el crecimiento de las emisiones de CO₂, comprobando que debajo del punto de quiebre el crecimiento económico puede ser beneficioso para mitigar el impacto medioambiental en este grupo de países. De manera similar, Manfeng & Hanjin (2017) en China concluyen que el desarrollo económico puede pasar a una etapa en la que se produce menos contaminación. En consecuencia, se trae a colación la investigación de Armen (2017) quien halló un efecto umbral positivo entre el crecimiento económico y las emisiones contaminantes de 35 países desarrollados durante el período 2003-2010, por lo que concluye que la forma de U invertida planteada por Kuznets es válida.

Por su parte, Silajdzic & Mehic (2018) también hallan una relación en forma de U inversa entre el crecimiento económico y el medio ambiente, sin embargo, los impuestos ambientales no son eficaces para proteger el medio ambiente. En el caso latinoamericano Sánchez y Caballero (2019) confirman la existencia de la hipótesis medioambiental de Kuznets,

sin embargo, sólo en 6 de los 23 países analizados correspondientes a la región han superado el umbral de los 10.000 dólares, el resto continua con niveles altos de contaminación por debajo del umbral. Mientras que, Maneejuk et al. (2020) de su investigación para 44 países divididos por zonas, logran concluir que en las zonas correspondientes al Grupo de los Siete (G7) la hipótesis de Kuznets se cumple, y las energías renovables parecen reducir la degradación ambiental.

De manera similar Yin et al. (2021) encuentran que para un grupo de países de ingreso bajos y medios bajos se comprueba la EKC, además destaca la relación causal unidireccional entre el crecimiento económico y el CO₂. En concordancia, Chu (2021) en su estudio analizando 118 países del mundo llega a la conclusión que la hipótesis de Kuznets se cumple, pues en principio la complejidad económica está asociada con mayores emisiones de CO₂, y solo cuando esta llega a un punto de quiebre o umbral resulta eficaz para limitar la degradación del medioambiente, además describe como tarea del gobierno mejorar la calidad institucional y fomentar la aplicación de energías renovables para minimizar los impactos negativos. En tanto que la curva de Kuznets ambiental (EKC) para un conjunto de 146 economías durante el período 1990-2016, resulta ser significativa para la muestra global, así como las submuestras de ingresos específicos (Khan & Eggoh, 2021).

Por otro lado, la curva ambiental se ve comprobada para 33 países de la OCDE entre 1990-2014, además se observa que la recaudación de impuestos ambientales juega un papel importante en la reducción de la degradación ambiental (Cho, 2021). Anpilov et al. (2021) también afirman el éxito del crecimiento económico en la curva ambiental de Kuznets, pero menciona que esta no se basa solamente a las políticas redistributivas, ya que se debe acompañar de mecanismos de ayuda para distribuir la riqueza hacia los estratos más bajos de la sociedad mediante educación y la mejora de la calidad de la mano de obra, no obstante, la aplicación de altos impuestos a los empresarios lejos de llegar a mejorar la asignación puede tener un impacto negativo en el crecimiento económico

.En el trabajo empírico de Koyuncu et al. (2021) se detalla como a través de regresiones autorregresivas de umbral en Turquía, durante el periodo de 1990 al 2015 se cumple el supuesto de la curva ambiental de Kuznets, debido a la disminución en la degradación ambiental como resultado del crecimiento de los ingresos a partir de 2015, no obstante, la intensidad energética resulta afectar negativamente a la calidad ambiental. De igual manera, Tenaw & Beyene (2021) confirman la existencia de la hipótesis EKC modificada en SSA, pero este vínculo depende de

la extensión de la dotación de recursos naturales. Entre los factores relacionados con el crecimiento, se encuentra que el consumo de energía y la apertura comercial que tienen un vínculo perjudicial en el largo plazo.

Una vez concluida la primera sección, en esta segunda se aborda la literatura que rechaza una relación entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental. Para empezar, se puede enlistar el trabajo de Akar (2012) quien en su investigación revela que el crecimiento económico causa una variada destrucción ambiental en diferentes niveles de desarrollo entre países, aunque también revela que la cantidad de emisiones tiende a verse reducida gracias a los impuestos ambientales aplicados en los sistemas tributarios. Por otro lado, Falconi et al. (2016) concluyen de su investigación que a nivel global y para el grupo de países no desarrollados no se cumple la hipótesis ambiental de Kuznets, además expone que el aumento de las emisiones viene acompañado de factores determinantes como las diferencias tecnológicas, aprovechamiento de los recursos, investigación e innovación.

Mientras que, Balsalobre et al. (2017) también llegan a la conclusión que mayores niveles de ingresos afectan el consumo de energía de fuentes fósiles, y, se traduce en un aumento en los niveles de emisión de gases de efecto invernadero. De manera similar Aye & Edoja (2017) analizando un conjunto de 31 países en desarrollo, evalúan el efecto del crecimiento económico sobre la emisión de CO₂, y los resultados obtenidos indican que el crecimiento económico incide de manera negativa sobre las emisiones de CO₂ cuando este es bajo, pero tiene un efecto positivo al incrementarse, por lo cual, rechazan que la curva de Kuznets sea una U invertida en el largo plazo.

Considerando los impuestos ambientales, se puede mencionar que en los países miembros de la OCDE durante el periodo 1994 al 2014 se evidencia una relación de umbral no lineal y positiva entre los impuestos ambientales y las emisiones de CO₂, de tal forma que por encima de dicho umbral los impuestos ambientales comienzan a aumentar las emisiones de CO₂ en este grupo de países (Zaghdoudi & Maktouf, 2017). Neve & Hamaide (2017) También rechaza la forma tradicional de la EKC entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental, y destaca la importancia del capital humano para reducirla.

De la investigación Masron & Subramaniam (2020) para un grupo de 99 países desarrollados y en desarrollo durante el período de 2008 y 2016 se desprenden como principales conclusiones que existe la presencia de un efecto de umbral, sin embargo, en

general la hipótesis EKC no se cumple para la muestra, ya que en estos países no se logra reducir la degradación ambiental, y a su vez se ve explicado esta situación por el aspecto institucional en gran medida. Mientras que, Demissew & Kotosz (2020) en su investigación para África evalúan la hipótesis de Kuznets considerando variables como el PIB, las emisiones de CO₂, la globalización, la inversión extranjera directa y población, donde obtienen como resultado que v el PIB per cápita y las emisiones de CO₂ son negativas hasta que el PIB per cápita alcanza un punto de inflexión (umbral), posterior a este empieza a incrementarse.

Continuando con el trabajo de Sirag et al. (2021), estos comprueban la existencia de una relación de umbral entre el PIB per cápita y las emisiones de dióxido de carbono, siendo esta positiva en los países de bajos y medios ingresos, con base en estos resultados concluyen que la validez de la hipótesis Kuznets en estos países no se cumple, y sugieren que los países en desarrollo todavía están por debajo del punto de inflexión de ingresos deseado, necesitando del apoyo de políticas que se destinen al uso eficiente de los recursos. Mientras Balsalobre-Lorente et al. (2021) coinciden en la existencia de un vínculo correlacional positivo entre el ingreso per cápita y las emisiones de dióxido de carbono.

En consecuencia, Wang et al. (2021) en su trabajo analizan una muestra de 134 países durante el periodo de 1996 a 2015, obteniendo mediante regresión de umbral que existe una relación positiva entre el crecimiento económico, la huella ecológica, las emisiones de carbono; adicionalmente la apertura comercial y las rentas de los recursos naturales logran aumentar la presión ambiental, no obstante, el consumo de energías renovables logra mejorar notablemente la calidad del medio ambiente. Por último, en el continente europeo, Simionescu (2021) estudia la relación entre el crecimiento económico y los gases de efecto invernadero en el periodo 1990-2019, concluyendo así que la curva ambiental de Kuznets no se cumple, sin embargo, el capital humano puede tener un mayor impacto en la conservación del ambiente.

5. Metodología

5.1 Estrategia metodológica

Para llevar a cabo este trabajo de investigación utilizó el método científico cuantitativo, debido a la naturaleza de la información recabada se emplea este método para analizar el comportamiento de la contaminación y del crecimiento económico. Por otra parte, se debe destacar que esta investigación optó por usar técnicas de análisis correlacional y econométrica, puesto que, a partir de la estimación de distintos modelos econométricos lineales y no lineales se pretende comprobar la validez de la hipótesis ambiental de Kuznets.

5.2 Tratamiento de datos

Para convalidar la hipótesis ambiental de Kuznets se tomó información de tipo secundaria de las bases datos internacionales de organismos oficiales y comprobables, tales como: Indicadores del Desarrollo Sostenible del Banco Mundial (2021), Estadísticas de la OCDE (2021), y el Pen World Table (2021). De las que se extrajeron las siguientes variables proxy: emisiones de dióxido de carbono, como variable dependiente o de interés que permite medir los niveles de contaminación ambiental, el PIB per cápita, y la recaudación fiscal ambiental como variables independientes o covariantes que permiten medir el impacto el nivel de crecimiento económico y los impuestos ambientales.

Adicionalmente se usó variables de control como el capital humano, para medir el nivel de especialización de la mano de obra, la exportación de recursos naturales (minerales, crudos, metales) para medir el nivel de uso de los recursos no renovables, también se tomó el valor de la industria para medir el grado de industrialización, y el consumo de energía renovable para medir el nivel de eficiencia energética.

Esta información corresponde a un conjunto de 66 países en el periodo de 1994 al 2019, y distribuidos por grupos de países según la clasificación ATLAS del Banco Mundial, para esta muestra existen tres grupos: ingresos altos, medios altos, y un tercer grupo conformado por la unión de los ingresos medios bajos y bajos, debido a la poca disponibilidad de datos para cada grupo. Además, cabe mencionar que algunas variables como las emisiones de dióxido de carbono, el PIB per cápita, y la industria, fueron transformadas a logaritmo natural para una mejor especificación y adaptación del modelo, dichas variables se resumen y se describen en la Tabla 1, así mismo como su notación.

Tabla 1*Descripción de variables*

Tipo de variable	variable	Unidad de medida	Notación	Definición
Dependiente	Emisiones de dióxido de carbono	toneladas métricas	logCO2	Las emisiones de dióxido de carbono son las derivadas de la quema de combustibles fósiles y la fabricación de cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y la quema de gas
Independiente	PIB per cápita	\$ precios constantes	logPIBp	El PIB per cápita es la suma del valor añadido bruto de todos los productores residentes en la economía más los impuestos sobre los productos y menos las subvenciones no incluidas en el valor de los productos, dividido para la población a mitad de año
	impuesto ambiental	% del PIB	TaxCO2	Los impuestos relacionados con el medio ambiente son un instrumento importante para que los gobiernos den forma a los precios relativos de los bienes y servicios
Control	Exportaciones de metales y minerales	% de exportaciones mercaderías	Xm	Los minerales y metales constituyen fertilizantes crudos, minerales, metales metálicos, chatarra y metales no ferrosos.
	Capital humano	Índice	HC	Índice de capital humano, basado en los años de escolaridad y los retornos a la educación.
	Industria	\$ precios constantes	logInd	Comprende el valor agregado en minería, manufactura, construcción, electricidad, agua y gas.
	Consumo de energía renovable	% total	Ern	El consumo de energía renovable es la proporción de energía renovable en el consumo total de energía final.

Por último, en la Tabla 2 se detallan con mayor precisión el listado de países que se usó en esta investigación y cada grupo de ingresos al que pertenecen, siendo 33 países los que conforman la muestra de países de ingreso alto, 19 países de ingreso medio alto, y por ultimo 24 países que conforman el grupo de ingreso medio y bajo.

Tabla 2

Distribución de la muestra de países analizados

Clasificación ATLAS	Países
Ingreso alto	Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, República Checa, Corea, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Lituania, Luxemburgo, Noruega, Nueva Zelanda, Países bajos, Polonia, Portugal, República Eslovaca, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Reino Unido, Estados Unidos, Croacia
Ingreso medio alto	Argentina, Brasil, Bulgaria, China, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Jamaica, Guatemala, México, Namibia, Panamá, Paraguay, Perú, , Tanzania, Trinidad y Tobago, Turquía, Uruguay, Zambia
Ingreso medio bajo y bajo	Belice, Bolivia, Camerún, Cote d'Ivoire, Filipinas, Eswatini, Honduras, Malí, Marruecos, Nicaragua, Nigeria, Níger, Rwanda, Uganda.

Por otro lado, en la Tabla 3 se observa los estadísticos descriptivos de cada variable para la relación estimada incluyendo las variables de control, donde se puede apreciar que la variación intragrupo es más significativa, la desviación estándar de cada variable permanece por debajo de la media en cada una de estas. También se puede mencionar que la media del PIB es de 9,27 o en valores enteros alrededor de 2,1567\$, por su parte el dióxido de carbono alcanza valores medios para toda la muestra en 31,2093 toneladas métricas.

En consecuencia, el impuesto ambiental sugiere que la media de lo que cobran los países que conforman esta investigación por recaudación ambiental es alrededor del 1.88% del PIB, cifra relativamente baja considerando que la mayoría de los países analizados posee una gran estructura comercial. De igual manera el valor del capital humano es bastante bajo, puesto que alrededor del 2.77%, por su parte, el valor de la exportación asume una media de 6.84%.

Tabla 3*Estadísticos descriptivos*

Variable		Media	Estad. desv.	Min	Max	Observaciones
Contaminación ambiental	General	10.66	2.07	1.10	16.16	N = 1716
	Entre		2.05	6.30	15.58	n = 66
	Dentro		0.39	-0.60	14.47	T = 26
PIB per cápita	General	9.28	1.37	5.39	11.63	N = 1716
	Entre		1.36	6.16	11.49	n = 66
	Dentro		0.21	8.24	10.24	T = 26
Impuesto ambiental	General	1.88	1.03	-1.53	5.37	N = 1716
	Entre		0.93	0.18	4.43	n = 66
	Dentro		0.45	-0.45	4.41	T = 26
Exportación de recursos naturales	General	6.84	11.39	-2.13	81.04	N = 1716
	Entre		10.73	0.20	51.57	n = 66
	Dentro		4.03	-38.13	42.85	T = 26
Capital Humano	General	2.77	0.65	1.14	3.89	N = 1716
	Entre		0.63	1.44	3.64	n = 66
	Dentro		0.20	1.36	3.97	T = 26
Industria	General	24.17	2.21	18.45	29.34	N = 1716
	Entre		2.16	19.06	28.70	n = 66
	Dentro		0.54	20.97	28.70	T = 26
Energía renovable	General	2.84	1.16	-2.44	4.57	N = 1716
	Entre		1.10	-0.31	4.54	n = 66
	Dentro		0.39	0.72	5.99	T = 26

También se observa que la industria posee una gran valoración en esta muestra global de países ubicando una media de 24.17% o el equivalente a doscientos cuarenta y tres mil millones de dólares, cifra realmente reveladora para entender la estructura económica en la que se sustentan estos países. Adicional, la energía renovable posee una media baja de alrededor de 2.84% o en valores serían aproximadamente unos treientos doce mil dólares.

Posterior al análisis de esta sección, se estimó la relación existente entre las variables de interés y las de control, para ello se hizo uso del análisis de correlación simple y así se pudo medir la fuerza y dirección de relación que poseen las variables para con la contaminación ambiental, medida por las emisiones de CO₂, cuyos resultados se resumen en la Tabla 4, de la que se destaca que la contaminación posee una alta correlación con la mayoría de variables; no obstante, solo se halla evidencia negativa en el consumo de energía renovable.

El crecimiento económico, medido por el PIB per cápita, posee una alta correlación entre todas las variables, pero se observa como con el consumo de energía renovable disminuye, provocando una relación inversa. Similarmente, el impuesto ambiental posee una correlación negativa para con el consumo de energía renovable, el capital humano por el contrario parece ser una fuente de aporte para la mayoría de variables, y de igual forma sucede con el valor agregado de la industria.

Cabe destacar que, ninguna variable parece tener problemas estadísticos hasta el momento que pueda dar paso a una regresión espuria, puesto que, su coeficiente de correlación es moderado al no sobrepasar el rango del 90%. Por último, se puede apreciar el estadístico de Factor de Inflación de Varianza, el mismo que permite corroborar si las variables poseen multicolinealidad entre sí, en función de lo hallado se puede descartar la presencia de la misma en todas las variables analizadas.

Puesto que, los valores hallados no sobrepasan el límite estadístico permitido, según Wooldridge (2002) y Del Valle & Guerra (2012), cuando los valores sobrepasan el límite de 5 se acepta una colinealidad moderada, y 10 en el caso de colinealidad total, por lo que, con valores por debajo de estos, se puede decir mencionar que, los datos no presentan ningún impedimento estadístico para su manipulación y posterior interpretación.

Tabla 4*Estadístico de correlación y factor de inflación de varianza*

	Contaminación ambiental	PIB per Cápita	Impuesto ambiental	Exportación de recursos naturales	Capital humano	Industria	Energía renovable
Contaminación ambiental	1.00						
PIB per cápita	0.51*	1.00					
Impuesto ambiental	0.00	0.49*	1.00				
Exportación de recursos naturales	0.11*	0.18*	-0.18*	1.00			
Capital humano	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		
Industria	0.44*	0.77*	0.37*	-0.10*	0.52*	1.00	
Energía renovable	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	-0.51*	-0.48*	-0.32*	0.17*	-0.45*	-0.40*	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Factor de inflación de varianza		3.75	1.41	1.06	2.59	1.81	1.40

Nota. * representa la significancia estadística al * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

5.3 Estrategia econométrica

En esta sección se aborda la estrategia econométrica que permite dar respuesta a los objetivos específicos y con ello las hipótesis planteadas al inicio de esta investigación. La estrategia utilizada responde a la modelización de datos panel, la misma que es bastante utilizada³ para explicar la interacción ente individuos heterogéneos es decir de diferentes zonas o países a lo largo de un periodo temporal. Una vez dicho esto, y buscando comprobar la hipótesis de Kuznets ambiental para los tres grupos de países escogidos, se detalla el procedimiento del primer objetivo.

5.3.1 Objetivo específico 1

Analizar y determinar la evolución temporal y correlación gráfica del crecimiento económico y la contaminación ambiental por grupos de países en el periodo 1994-2019.

Para responder al primer objetivo de investigación, se realizó un análisis de evolución temporal entre las variables de interés del modelo, es decir, las emisiones de dióxido de carbono, el PIB per cápita y los impuestos ambientales, esto con el objetivo de analizar el comportamiento tendencial de las variables ya mencionadas para cada uno de los grupos de países en el periodo establecido. Por consiguiente, se evalúa la relación entre cada una de estas variables para con la dependiente, es decir, la contaminación ambiental, para ello se hace un análisis de correlación gráfica, esto con el propósito de obtener de primera mano cómo se presenta el grado de asociación entre las mismas y su tendencia. La fórmula básica de esta presentación se basa en la correlación lineal, misma que se presenta a continuación.

$$P_{x,y} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X\sigma_Y} = \frac{E[(X - u_x) - (Y - u_Y)]}{\sigma_X\sigma_Y} \quad (1)$$

Donde el coeficiente de correlación lineal entre dos variables $P_{x,y}$ se define en términos de la covarianza de las variables aleatorias X y Y $cov(X,Y)$, para la covarianza de X y Y $\sigma_X\sigma_Y$, de esta manera las variables independientes (X) varían de manera conjunta con Y, obteniendo un grado de correlación lineal. El análisis de correlación es una herramienta muy útil que se usa para la descripción del grado de relación lineal de una variable con otra.

³ La metodología de datos de panel es de las más usadas en el ámbito de la economía debido a la riqueza con la que permite trabajar simultáneamente varios periodos de tiempo y los efectos individuales (Bustamante, 2021).

5.3.2 Objetivo específico 2

Contrastar el comportamiento del crecimiento económico en el medio ambiente por grupos de países mediante la utilización de técnicas econométricas de umbral.

En este apartado se plantea el proceso metodológico para responder al objetivo específico dos, el mismo que busca estimar y contrastar la relación de quiebre estructural en comparación con las estimaciones lineales, para así evaluar el cambio que puede representar la variable crecimiento económico y su posterior efecto en la contaminación ambiental, para ello primero interesa saber la trayectoria que toman los residuos, es decir si estos tienden a ser significativos en los efectos aleatorios o fijos.

Usando la prueba de Hansen (1978) se puede comprobar el comportamiento que estos poseen, y así aceptar o rechazar que el termino estocástico se presente de manera estática a través del tiempo dentro de los individuos o si por el contrario tienden a variar de forma aleatoria entre estos. Ya una vez establecido se procede al análisis de línea base de esta investigación, para obtener una primera aproximación de la relación, se estima la regresión por Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles, (FGLS). Los cuales parten de la ecuación GLS (2).

$$(1 - \rho^2)^{1/2}y_1 = (1 - \rho^2)^{1/2}\beta_0 + (1 - \rho^2)^{1/2}\beta_1X_1 + (1 - \rho^2)^{1/2} + v_{it} \quad (2)$$

Es importante aclarar que GLS se basa en la multiplicación de sus estimadores por el estimador matricial ρ , no obstante, ρ rara vez se conoce en la práctica. Para obtenerlo se debe realizar una regresión de los residuales de MCO sobre sus contrapartes rezagadas (Wooldridge, 2010). Por lo cual, el método FGLS (3) asume la forma funcional de dicha matriz, al multiplicar cada término por los valores estimados de ρ ($\hat{\rho}$) la cual se calcula luego de obtener los residuales de la regresión por MCO y sus residuos, dicho esto, y usando las variables del modelo se obtiene la ecuación (4).

$$(1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}y_1 = (1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}\beta_0 + (1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}\beta_1X_1 + (1 - \hat{\rho}^2)^{1/2} + v_{it} \quad (3)$$

$$(1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}CO2_{it} = (1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}\beta_0 + (1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}\beta_1 \log PIBp_{it} + (1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}\beta_2 Ener_{it} + (1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}\beta_3 Hc_{it} + (1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}\beta_4 imp_{it} + \beta_5(1 - \hat{\rho}^2)^{1/2}PTF_{it} + v_{it} \quad (4)$$

Previo a la estimación de umbral, y una vez planteada la estimación de línea base, se procede a estimar una posible relación de largo plazo, sin embargo, antes de proceder con la misma se deben detectar ciertos problemas estadísticos como la dependencia de sección transversal. Para ello se utiliza la prueba CD de detección de dependencia de sección transversal. La prueba de CD tiene el tamaño y consistencia correcta para todas las combinaciones de N y T, e independientemente de si el panel contiene valores rezagados de la dependiente (Pesaran, 2015), la misma que se muestra de forma general a continuación.

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \sqrt{T} \rho_{ij} \right) \quad (5)$$

La significancia de la estadística CD de dependencia transversal compromete el panel a usar estimaciones de segunda generación para poder comprobar la estacionariedad de las variables, en este caso al hacer uso de las pruebas de raíz unitaria se debe considerar pruebas acordadas que permitan tratar este problema, en este caso se optó por usar la prueba CIPS propuesta por Pesaran (2015), la cual parte del estadístico de Dickey-Fuller aumentado transversalmente para cada unidad de sección dada por la relación T del coeficiente en la regresión original CADF. Dicha prueba se resume a continuación.

$$CIPS(N, T) = t - bar = N^{-1} \sum_{i=1}^N t_i(N, T) \quad (6)$$

En concordancia, con el orden de integración definido se procede a comprobar si existe una relación de largo plazo entre las variables de interés, para poder comprobar esta relación se aplicó la prueba de cointegración de Westerlund (2007) para probar la hipótesis nula de ausencia de cointegración determinada por los miembros individuales del panel, el método se divide en dos secciones las estadísticas de prueba Ga y Gt prueban que al menos uno o algunos individuos se encuentran cointegrados, mientras que, las estadísticas Pt y Pa permiten comprobar la cointegración total del panel. Las pruebas son muy flexibles y permiten una casi completa especificación heterogénea de las partes de largo y corto plazo del modelo de corrección de errores (Persyn & Westerlund, 2008). A continuación, se resume la prueba general.

$$Y_{it} = \delta_i d_t + \alpha_i (Y_{i,t-1} - \beta_i X_{i,t-1}) + \sum_{i=1}^{Pi} \alpha_{ij} Y_{i,t-j} + \sum_{i=-qi}^{Pi} Y_{ij} X_{i,t-j} + v_{it} \quad (7)$$

La misma que denota el tiempo, $t = 1 \dots T$ y el conjunto de individuos o países $i = 1 \dots N$, d_t denota los componentes deterministas, α_i denota el intercepto heterogéneo de la ecuación, por su parte p_i y q_i son el número de retrasos y adelantos que condicionan a las variables y las variables desfazadas. Una vez descrito el proceso de cointegración de variables en el largo plazo, se realiza la estimación no lineal o también llamada de umbral.

Para detectar la existencia de un umbral en la serie se lleva a cabo la prueba de significancia de quiebre estructural, mediante el conteo Bootstrap (300) en los valores críticos del estadístico F , cuyos valores indican si se acepta o se rechaza la hipótesis nula de quiebre estructural de la serie temporal, estos resultados se afianzan con lo que se obtuvo mediante el análisis gráfico de la estadística de máxima verosimilitud LR e igualmente conteo Bootstrap (300) se llega a determinar si la serie posee uno o más umbrales significativos

Si se halla la significancia se procede como tal a la estimación de interés, es decir el método de quiebre estructural de panel o de umbral, siguiendo a Hansen (1999) y Wang (2015) se ha planteado un modelo de umbral único, cabe mencionar que Wang (2015) actualiza la estrategia permitiendo calcular hasta 3 umbrales dentro del panel, no obstante, para esta investigación se ha tomado solamente el primer y segundo umbral por su significancia encontrada. Dicha modelación se resume en la siguiente ecuación estándar:

$$Y_{it} = u + X_{it}(q_{it} < \gamma)\beta_1 + X_{it}(\gamma \geq q_{it})\beta_2 + u_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

De donde se puede observar que (q) es la variable de umbral, en concordancia, γ es el parámetro umbral con dos regímenes ($\beta_1 \beta_2$) que explica el efecto antes y después del mismo. Mientras que, ε_{it} que es el error. No obstante, al no conocer γ , el modelo sería igual al modelo lineal ordinario. Pero si γ es desconocido, hay un problema de parámetro molesto, Hansen (1999) demostró que $\hat{\gamma}$ es un estimador consistente para γ , argumentando que la mejor manera de probar $\hat{\gamma} = \gamma_0$ es formar el intervalo de confianza utilizando el estadístico de razón de verosimilitud (LR), al aplicar las variables del modelo se obtiene que:

$$CO2_{it} = u_{it} + \log PIB_{it}(q_{it} < \gamma)\beta_1 + \log PIB_{it}(q_{it} \geq \gamma)\beta_2 + \beta_3 TaxCO2_{it} + \beta_4 Xm_{it} + \beta_5 HC_{it} + \beta_6 \log Ind_{it} + \beta_6 Ern_{it} + v_{it} \quad (9)$$

Donde el número de individuos se representa por $i=1, \dots$, en el lapso temporal $t = 1, \dots, T$, la ecuación como tal demuestra que las emisiones de dióxido de carbono se encuentran en función del quiebre estructural del crecimiento económico per cápita, siendo q_{it} el estadístico de umbral, γ es el parámetro de umbral que divide la ecuación en dos regímenes con coeficientes β_1 y β_2 , el parámetro u_{it} es el efecto individual, y ε es el término de perturbación fijo. Mientras que, el resto de variables como los impuestos ambientales, la exportación de minerales, el capital humano, y el consumo de energía renovable aportan su significancia explicativa al modelo luego del punto de quiebre es de destacar que la variable se recorta en 1% por intervalo para encontrar el valor de umbral, también se utiliza una cuadrícula de 300 repeticiones (Bootstrap) para mejorar el proceso de sesgo y dependencia transversal.

5.3.3 Objetivo específico 3

Contrastar el comportamiento de la recaudación fiscal ambiental en el medio ambiente por grupos de países mediante la utilización de técnicas econométricas de umbral

Para responder al tercer objetivo, se parte básicamente de la metodología ya planteada en el objetivo dos, salvo que para este caso se realizó un cambio en la variable de interés, crecimiento económico, por la variable proxy que representa a los impuestos ambientales, esto con la finalidad de hacer un contraste del efecto que puede experimentar la contaminación ambiental cuando se considera un límite al aumento del consumo de energías contaminantes. Una vez dicho esto, en la ecuación (10) se muestra la nueva ecuación considerando como umbral a los impuestos a la contaminación.

$$CO2_{it} = u_{it} + TaxCO2_{it}(q_{it} < \gamma)\beta_1 + TaxCO2_{it}(q_{it} \geq \gamma)\beta_2 + \beta_3 \log PIBp_{it} + \beta_4 X m_{it} + \beta_5 HC_{it} + \beta_6 \log Ind_{it} + \beta_6 Ern_{it} + v_{it} \quad (10)$$

Donde el número de individuos se representa por $i=1, \dots, n$ en el lapso temporal $t = 1, \dots, t$, la ecuación como tal demuestra que las emisiones de dióxido de carbono se encuentran en función del quiebre estructural de los impuestos ambientales, siendo q_{it} el estadístico de umbral, γ es el parámetro de umbral que divide la ecuación en dos regímenes con coeficientes β_1 y β_2 , el parámetro u_{it} es el efecto individual, y ε es el término de perturbación fijo. Mientras que, el resto de variables como el crecimiento económico, la exportación de minerales, el capital humano, y el consumo de energía renovable aportan su significancia explicativa al modelo luego del punto de quiebre; es de destacar también que la variable se recorta en 1% por intervalo para encontrar el valor de umbral, también se utiliza una cuadrícula de 300 repeticiones (Bootstrap).

6. Resultados

Una vez descrito el planteamiento de la estrategia econométrica con la que se busca dar una respuesta pragmática a la incógnita teórica sobre el papel del crecimiento económico en la reducción de la contaminación ambiental planteada por Kuznets, se presentan los resultados obtenidos forma resumida según el orden de los objetivos específicos planteados.

6.1 Objetivo específico 1

Analizar y determinar la evolución temporal y correlación gráfica del crecimiento económico y la contaminación ambiental por grupos de países en el periodo 1994-2019

Para dar respuesta al objetivo 1, se ha considerado el uso de gráficas de evolución temporal que permiten dar un primer vistazo de la situación general de las variables de interés. En la Figura 1 se puede observar la evolución en el tiempo de la contaminación y el crecimiento económico, representadas por las emisiones de CO₂ y el PIB per cápita, mismas que se encuentran promediadas para cada año con el propósito de realizar un análisis de manera uniforme para todos los grupos de países.

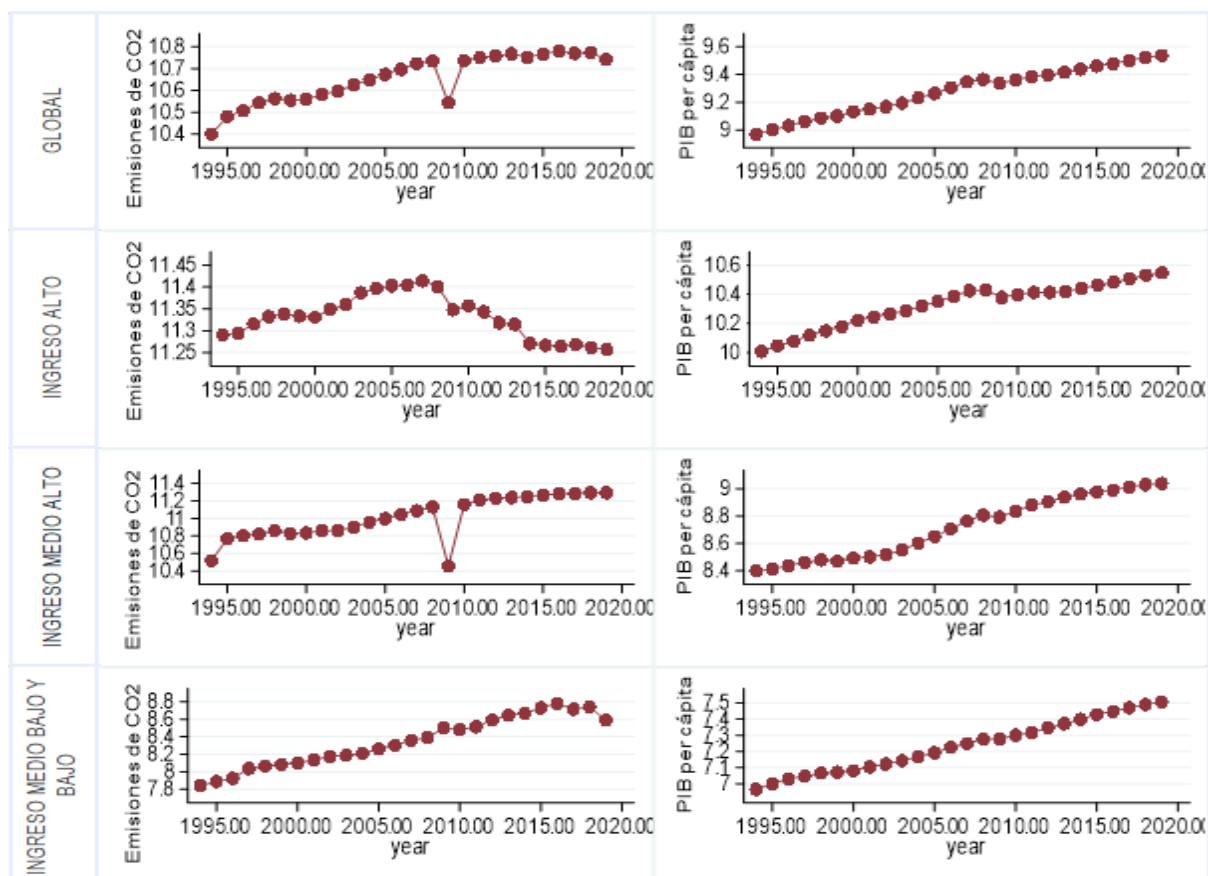
En primer lugar, las emisiones de dióxido de carbono para el grupo global de países tomados en este trabajo muestran una tendencia al alza, no obstante, se puede apreciar una única curvatura o punto de quiebre en el año 2009, esto se vería explicado precisamente por la disminución del consumo y por ende la producción que se produjo tras la gran recesión por la burbuja inmobiliaria entre 2008 y 2009. Periodo donde las principales economías del mundo de Norteamérica y Europa bajaron sus índices de contaminación gracias a la ralentización económica, no obstante, al recuperarse el nivel de producción previo a la debacle continuaron aumentando las emisiones de CO₂.

Por el lado del crecimiento económico per se, se observa que este se ha mantenido a un ritmo creciente y constante, en esta muestra de países no se observa ningún tipo de quiebre estructural significativo a comparación de la contaminación ambiental, considerando que la debacle de 2009 afectó a muchos países, y pese a eso apenas se logra distinguir un ligero desfaz pero que se recupera el siguiente año. Continuando con el grupo de países de ingreso alto, se puede observar una evolución un tanto particular, puesto que, esta tiene una forma de U invertida, y si se compara el crecimiento económico este se encuentra en constante crecimiento, lo que a simple rasgos permitiría inferir que la hipótesis ambiental de Kuznets resultaría válida.

Otra razón de este comportamiento también se debe a que los fondos dedicados a la inversión en el desarrollo sostenible han alcanzado entre 1.2 y 1.3 billones de dólares, empero la mayoría de esos fondos se invierten en países desarrollados (United Nations Environment Program, 2020).

Figura 1

Evolución temporal del PIB per cápita y las emisiones de CO₂



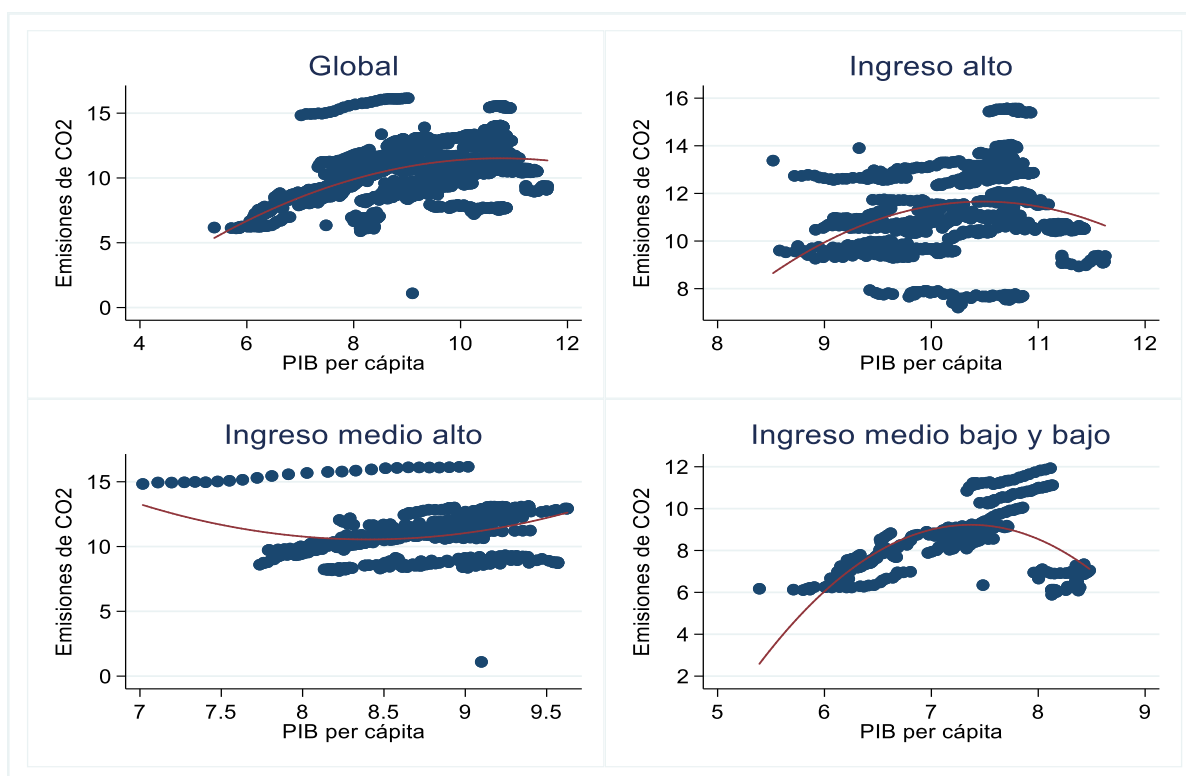
En los países de ingreso medio alto se observa la misma relación que sigue la muestra global de países, salvo que en este caso el quiebre estructural presentado es mucho más agresivo, lo cual por una parte resulta beneficioso para la conservación ambiental, por otra parte también preocupa el nivel de dependencia de las economías más desarrolladas, pues pese a que en estas se suscitó el problema tanto sus niveles de contaminación como el ingreso personal no se vieron tan afectadas como sus vecinos y socios comerciales. Por último, el grupo conformado por los países de ingreso medio bajo y bajo presentan una relación creciente a lo largo del periodo de estudio, no obstante, sus niveles de contaminación en promedio se encuentran muy por debajo de la muestra global y en comparativa con la muestra de países de

ingreso alto, también se observa que cuenta con el menor crecimiento económico de todas las muestras.

Continuando con el análisis de correlación entre las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico per cápita, en la Figura 2 se resume cada una de las relaciones por grupos de países. En primer lugar, se observa que para el grupo global existe una tendencia cuya forma se asemeja a la relación teórica invertida que debería seguir la relación, sin embargo, esta no es tan pronunciada como se esperaría, se destaca además que está acompañada de una dispersión de datos bastante ajustada, por lo que se puede evidenciar a priori que conforme aumenta el ingreso percibido por persona la contaminación ambiental tiende a atenuarse en el largo plazo. No obstante, para el grupo de países de ingreso alto a pesar que la línea de tendencia sea similar a la global, los puntos de dispersión se encuentran más alejados entre sí, por lo que no se puede aceptar que exista un efecto correlacional significativo entre estas variables.

Figura 2

Correlación gráfica del PIB per cápita y emisiones de CO₂



En contraparte, para el grupo de países de ingreso medio alto no se halla una tendencia inversa como se ha venido observando hasta ahora, por el contrario, se observa que la

contaminación medioambiental aumenta conforme lo hace el crecimiento económico. Aunque, si bien se observa una ligera fluctuación hacia la baja, llegando a un punto de inflexión medio que parecería disminuir el nivel de polución en el corto plazo, sin embargo, en el largo plazo esta tendencia es mucho más creciente conforme aumenta el ingreso y consumo disponible por persona. Al ser este grupo conformado por países que en su mayoría su economía depende de la explotación de recursos naturales este panorama es muy común de observar.

En consecuencia, el grupo de ingresos medio bajo y bajo también presenta una línea de tendencia en forma de U invertida tal como se pudo presenciar en el grupo global de países, sin embargo, al encontrar desajuste de dispersión de los datos a dicha línea se puede deducir que existe un grado de asociación débil entre dichas variables. En síntesis, se puede concluir de esta prueba que la hipótesis teórica de Kuznets ambiental no tiende a cumplirse, al menos con el análisis básico de correlación, sin embargo, correlación y causalidad no son precisamente estrictas entre sí, por lo que se recurre a otras estimaciones para poder rechazar o aceptar dicha hipótesis.

6.2 Objetivo específico 2

Contrastar el comportamiento del crecimiento económico en el medio ambiente por grupos de países mediante la utilización de técnicas econométricas de umbral.

Para dar respuesta al objetivo específico número dos, se evaluó si las variables siguen un proceso de efectos fijos o aleatorios en el término de perturbación, usando la prueba de Hausman (1978) se pudo comprobar que los efectos fijos tienden a sobreponerse a los efectos aleatorios en todos los grupos de países. Para abordar la relación de línea base se consideró una estimación por Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles, FGLS por sus siglas en inglés, para luego realizar el análisis de una relación de cointegración de largo plazo entre las variables mediante las pruebas de cointegración de Westerlund (2007).

Los resultados obtenidos mediante la estimación FGLS, revisar anexo 2, reflejan que, el crecimiento económico tiende en general a mejorar los niveles de contaminación ambiental para todos los grupos de países, sin embargo, es el consumo de energía renovable la variable que mejor logra reducir las emisiones de CO₂, siendo sus efectos más significativos en el grupo de países de ingreso medio alto, situación similar con el capital humano, ya que es el único grupo donde se logra mitigar la contaminación tenuemente. Sin embargo, en conjunto la industria y la exportación de recursos naturales por el contrario tienen un efecto positivo sobre la contaminación.

Estos resultados permiten obtener una mejor aproximación que la que se obtuvo solamente con el análisis gráfico en el anterior objetivo. No obstante, aún existe una particularidad, si bien este método arroja resultados consistentes, la relación de cointegración permite realizar un análisis más completo en función de problemas como la dependencia de sección transversal y la estacionariedad del panel analizado. Es por ello que, para comprobar un proceso de dependencia transversal se usó la prueba CD de Pesaran (2015), misma que se presenta a en la Tabla 5.

Tabla 5*Prueba de dependencia de sección transversal CD Pesaran (2015)*

Grupo	Variable	CD	p.value
Global	Contaminación ambiental	235.86***	0.00
	Industria	236.11***	0.00
	Capital Humano	235.15***	0.00
	Energía renovable	215.71***	0.00
	Impuesto ambiental	217.18***	0.00
	Exportación de recursos naturales	201.93***	0.00
	PIB per cápita	236.11***	0.00
Ingreso alto	Contaminación ambiental	124.33***	0.00
	Industria	124.36***	0.00
	Capital Humano	124.32***	0.00
	Energía renovable	107.97***	0.00
	Impuesto ambiental	121.04***	0.00
	Exportación de recursos naturales	118.37***	0.00
	PIB per cápita	124.37***	0.00
Ingreso medio alto	Contaminación ambiental	62.93***	0.00
	Industria	63.06***	0.00
	Capital Humano	62.54***	0.00
	Energía renovable	62.10***	0.00
	Impuesto ambiental	53.53***	0.00
	Exportación de recursos naturales	54.41***	0.00
	PIB per cápita	63.05***	0.00
Ingreso medio bajo y bajo	Contaminación ambiental	44.98***	0.00
	Industria	45.03***	0.00
	Capital Humano	44.72***	0.00
	Energía renovable	44.89***	0.00
	Impuesto ambiental	39.98***	0.00
	Exportación de recursos naturales	26.71***	0.00
	PIB per cápita	45.02***	0.00

Nota. * representa la significancia estadística al * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Con esta prueba se pudo notar que, en efecto, todas las variables poseen dependencia transversal entre ellas al obtener valores de probabilidad inferiores al 0.05, con lo que se condicionan las estimaciones de estacionariedad a la aplicación de pruebas de raíz unitaria de segunda generación, en este caso se consideró la prueba CIPS de Pesaran (2007), cuyos valores en niveles y diferenciados se hallan detallados en la Tabla 7 y 8.

Tabla 6*Prueba de Raíz unitaria CIPS Pesaran (2007) en niveles*

Variable	Global			Ingreso alto			Ingreso medio alto			Ingreso medio bajo y bajo		
	lags	Zt-bar	p.value	lags	Zt-bar	p.value	lags	Zt-bar	p.value	lags	Zt-bar	p.value
Contaminación ambiental	0.00	-0.91	0.18	0.00	-7.62	0.00	0.00	3.29	1.00	0.00	1.38	0.92
	1.00	3.46	1.00	1.00	-0.51	0.30	1.00	2.81	1.00	1.00	3.07	1.00
Industria	0.00	-6.65	0.00	0.00	-10.21	0.00	0.00	-2.44	0.01	0.00	1.07	0.86
	1.00	-0.41	0.34	1.00	-1.47	0.07	1.00	0.58	0.72	1.00	1.25	0.89
Capital Humano	0.00	9.99	1.00	0.00	6.29	1.00	0.00	5.74	1.00	0.00	7.53	1.00
	1.00	5.52	1.00	1.00	8.54	1.00	1.00	1.73	0.96	1.00	2.22	0.99
Energía renovable	0.00	-3.45	0.00	0.00	-3.27	0.00	0.00	-0.05	0.48	0.00	-0.05	0.48
	1.00	-1.29	0.10	1.00	-1.33	0.09	1.00	-0.85	0.20	1.00	0.49	0.69
Impuesto ambiental	0.00	0.28	0.61	0.00	2.92	1.00	0.00	-0.09	0.47	0.00	-0.92	0.18
	1.00	0.12	0.55	1.00	2.44	0.99	1.00	1.29	0.90	1.00	-1.18	0.12
Exportación de recursos naturales	0.00	-3.70	0.00	0.00	-1.84	0.03	0.00	-1.36	0.09	0.00	-0.89	0.19
	1.00	-3.68	0.00	1.00	-4.81	0.00	1.00	0.43	0.67	1.00	-1.22	0.11
PIB per cápita	0.00	8.33	1.00	0.00	3.92	1.00	0.00	3.60	1.00	0.00	0.76	0.78
	1.00	3.38	1.00	1.00	-0.48	0.32	1.00	1.49	0.93	1.00	2.96	1.00

Tabla 7*Prueba de Raíz unitaria CIPS Pesaran (2007) en diferencias*

Variable	Global			Ingreso alto			Ingreso medio alto			Ingreso medio bajo y bajo		
	lags	Zt-bar	value	lags	Zt-bar	value	lags	Zt-bar	value	lags	Zt-bar	value
Contaminación ambiental	0.00	-33.96	0.00	0.00	-25.70	0.00	0.00	-17.37	0.00	0.00	-13.61	0.00
	1.00	-23.77	0.00	1.00	-18.69	0.00	1.00	-11.82	0.00	1.00	-9.97	0.00
Industria	0.00	-32.51	0.00	0.00	-25.15	0.00	0.00	-16.69	0.00	0.00	-14.23	0.00
	1.00	-20.63	0.00	1.00	-17.18	0.00	1.00	-9.21	0.00	1.00	-6.32	0.00
Capital Humano	0.00	-21.82	0.00	0.00	-19.64	0.00	0.00	-11.25	0.00	0.00	-8.27	0.00
	1.00	-7.16	0.00	1.00	-7.13	0.00	1.00	-2.07	0.02	1.00	-2.46	0.01
Energía renovable	0.00	-33.61	0.00	0.00	-24.75	0.00	0.00	-16.69	0.00	0.00	-14.96	0.00
	1.00	-26.17	0.00	1.00	-19.17	0.00	1.00	-12.61	0.00	1.00	-9.31	0.00
Impuesto ambiental	0.00	-33.24	0.00	0.00	-23.42	0.00	0.00	-16.76	0.00	0.00	-14.70	0.00
	1.00	-22.04	0.00	1.00	-13.13	0.00	1.00	-12.26	0.00	1.00	-12.02	0.00
Exportación de recursos naturales	0.00	-33.52	0.00	0.00	-23.66	0.00	0.00	-18.37	0.00	0.00	-14.04	0.00
	1.00	-20.61	0.00	1.00	-17.47	0.00	1.00	-14.75	0.00	1.00	-11.40	0.00
PIB per cápita	0.00	-27.60	0.00	0.00	-19.88	0.00	0.00	-14.87	0.00	0.00	-14.63	0.00
	1.00	-16.15	0.00	1.00	-9.38	0.00	1.00	-9.10	0.00	1.00	-11.39	0.00

En consecuencia, para evaluar una relación de largo plazo se hizo uso de la prueba de cointegración de Westerlund (2007) la cual se muestra en la Tabla 8, la misma que confirma una relación de largo plazo para algunos y todos los paneles en todos los grupos de países. En concordancia, también se realizó la prueba de Westerlund (2005) para afianzar los resultados obtenidos, dicha prueba se encuentra en el Anexo 3, y de lo que se puede observar los resultados son similares a los hallados anteriormente, por lo que se puede confirmar que en el largo plazo al menos un individuo halla un punto de convergencia.

Tabla 8

Prueba de cointegración de Westerlund (2007)

Grupo	Estadístico	Valor	Z-valor	P-valor
Global	Gt	-4.44	-16.01	0.00
	Ga	-4.50	9.11	1.00
	Pt	-61.12	-36.74	0.00
	Pa	-21.80	-10.94	0.00
Ingreso alto	Gt	-4.50	-12.00	0.00
	Ga	-6.32	5.34	0.00
	Pt	-165.00	-127.71	0.00
	Pa	-87.75	-52.52	0.00
Ingreso medio alto	Gt	-3.74	-5.45	0.00
	Ga	-1.73	6.17	1.00
	Pt	-22.89	-11.62	0.00
	Pa	-5.32	2.27	0.09
Ingreso medio bajo y bajo	Gt	-5.25	9.96	0.00
	Ga	-3.42	4.51	1.00
	Pt	-14.72	5.92	0.00
	Pa	-2.34	3.16	1.00

Hasta ahora se ha visto un leve contraste entre las estimaciones lineales, sin embargo, con la evidencia de una fluctuación en la evolución de las variables se evalúa una posible relación de quiebre estructural, es por esto que se consideró la estimación de umbral para datos panel desarrollada por Hansen (1999) y actualizada por Wang (2015), con esta estimación se puede analizar la relación entre individuos con un corte específico. Los modelos de regresión de umbral especifican que el individuo y las observaciones se pueden dividir en diversas clases según el valor de una variable determinada (Hansen, 1999).

Para detectar este posible proceso de quiebre estructural se lleva a cabo la estimación del valor de umbral detallada en la Tabla 9, en la cual se puede observar los valores umbral, el

primero, TH-1 reporta todos los valores antes del umbral, TH-21 viene siendo el primer quiebre estructural y reporta el punto exacto donde sucede el cambio, en este caso el valor adoptado a nivel global es del 6.49% del PIB per cápita. Finalmente se reporta un segundo modelo TH-22 que considera el doble umbral. Como comentario adicional, este método permite estimar hasta tres quiebres consecutivos, sin embargo, este trabajo se centra solo en el primero y segundo.

Tabla 9

Prueba de detección de umbral de PIB per cápita

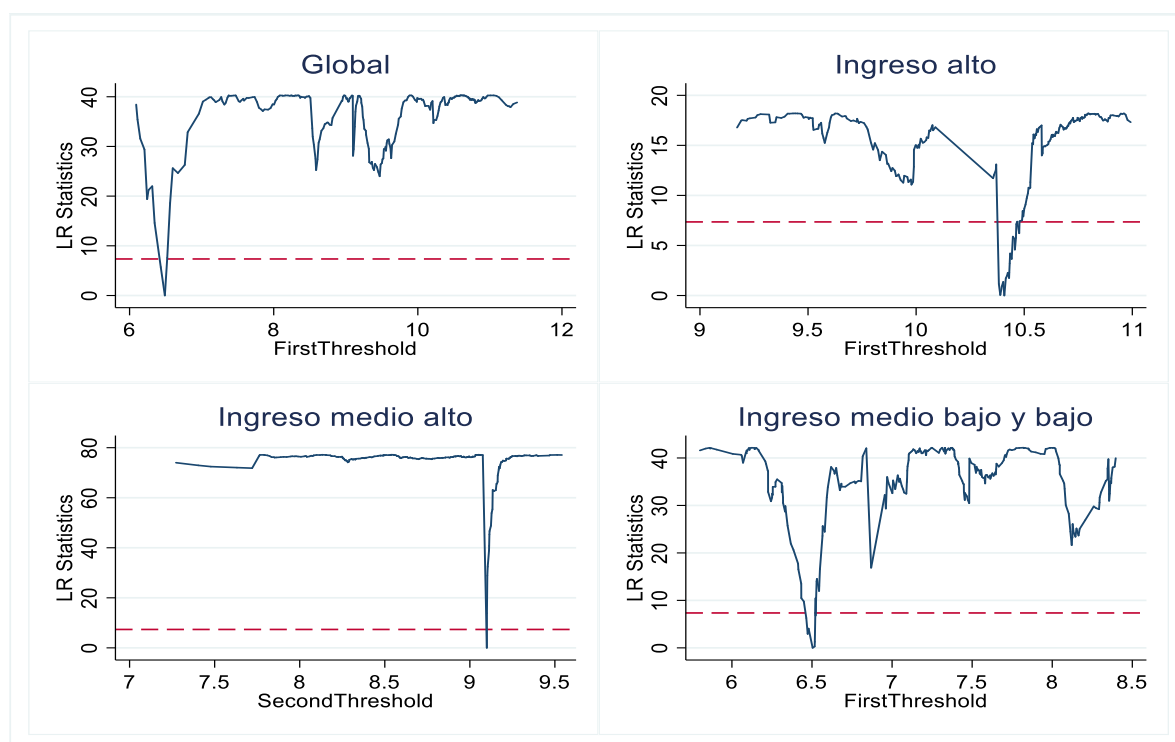
Grupo	Modelo	Umbral	Bajo	alto
Global	Th-1	6.49	6.39	6.52
	Th-21	6.49	6.39	6.52
	Th-22	8.98	8.86	8.99
Ingreso alto	Th-1	10.22	10.21	10.23
	Th-21	10.30	10.05	10.31
	Th-22	10.41	10.39	10.41
ingreso medio alto	Th-1	9.09	9.09	9.09
	Th-21	9.09	9.08	9.10
	Th-22	9.11	9.08	9.11
Ingreso medio bajo y bajo	Th-1	6.50	6.46	6.52
	Th-21	6.50	6.46	6.52
	Th-22	7.31	7.28	7.31

Como ya se mencionó, esta prueba solamente refleja los posibles valores a considerarse en caso de un quiebre o dos quiebres estructurales, para poder aceptar o rechazar la existencia de los mismos se realiza la prueba de significancia estadística de umbral, la cual se detalla en la Tabla 10, y se puede observar como para el grupo global de países existe un efecto único de umbral, al obtener valores estadísticamente significativos, de igual manera para el grupo de ingreso alto, y de ingreso medio bajo y bajo. Mientras que, para el grupo de ingresos medio alto se halla una relación de umbral doble.

Tabla 10*Prueba de significancia de umbral PIB per cápita*

Grupo	Umbral	RSS	MSE	F-estadístico	Probabilidad	Valor crítico %		
						0.1	0.05	0.01
Global	Único	216.89	0.13	46.2	0.04	42.03	53.51	67.41
	Doble	214.66	0.13	17.57	0.44	41.82	51.93	144.99
Ingreso alto	Único	36.52	0.04	46.16	0.03	32.65	40.84	59.08
	Doble	36.37	0.04	3.65	0.99	33.95	42.89	58.77
Ingreso medio alto	Único	141.42	0.32	14.78	0.32	43.24	55.87	75.32
	Doble	123.92	0.28	62.41	0.01	28.72	40.08	61.19
Ingreso medio bajo y bajo	Único	11.03	0.04	52.7	0.03	37.36	44.74	85.19
	Doble	10.64	0.03	11.35	0.73	27.61	34.7	46.23

Una manera de afianzar los resultados es con el uso de la estadística LR, representada en la Figura 3. En esta figura se comprueba que, para todos los grupos de países existe significancia estadística en uno y dos umbrales, ya que el punto de quiebre sobrepasa la estadística LR, es decir, la línea punteada roja, que básicamente actúa como un límite de restricción, pasado dicho límite se acepta que los datos siguen un proceso no lineal en uno o varios umbrales.

Figura 3*Estadística LR gráfica por grupo de países*

Ahora, centrándose totalmente en la estimación del efecto umbral que tiene el crecimiento económico sobre las emisiones de dióxido de carbono, se puede apreciar en la Tabla 11 que para el grupo global esta relación es estadísticamente significativa. Sin embargo, no existe un efecto reductor después del umbral estimado, ya que, dicho valor resulta mayor a los niveles de contaminación que experimenta el grupo cuando alcanza este pico.

Para el grupo de ingresos altos se halla evidencia similar que afirma que a mayores niveles de crecimiento económico se tiende a acrecentar los niveles de contaminación, un resultado que invalida la hipótesis de Kuznets ambiental, y, de igual manera esta relación se muestra para el grupo de países de ingreso medio bajo y bajo. Solamente en el grupo de ingreso medio alto se obtiene una relación significativa que de cierta forma permite aceptar un efecto reductor luego del umbral, sin embargo, este es mínimo, y aún provoca la contaminación en gran cantidad.

Analizando el comportamiento de la industria, se puede observar que, esta es positiva en todos los grupos de países al considerar el efecto umbral del PIB, por lo cual, no se puede afirmar que el avance tecnológico de la industria ha contribuido a la reducción de la contaminación, aunque si bien el efecto contaminante es menor en los países más desarrollados que en los menores, el nivel de contaminación sigue siendo elevado, lo que pone en riesgo los propósitos de conservación ambiental en los próximos años continuos.

El capital humano logra tener significancia estadística solamente en el grupo de ingresos altos, en el resto no hay evidencia que permita afirmar un comportamiento concluyente, en este grupo se puede notar que conforme aumenta el producto interno bruto, la reducción de la contaminación se logra mitigar a través del mejoramiento de la educación, especialización, y la conciencia ambiental, a diferencia del capital humano de las zonas menos desarrolladas que quizá por sus condiciones no logran crear un hito en la forma de producción de estos países.

En consecuencia, otra variable que explica la reducción de las emisiones de dióxido de carbono luego de la aplicación del umbral es el consumo de energía renovable, siendo esta estadísticamente significativa para todos los grupos analizados y aportando en gran manera a la mitigación de la degradación, pero, cabe destacar que, dentro del grupo de ingresos medio alto cuando se consideran dos puntos de quiebre esta tiende a obtener mejores resultados a

diferencia del resto de países, y, aunque también se presenta en el grupo de ingresos altos su relación es más baja en comparación.

La exportación de recursos naturales, por otro lado, apenas parece tener un efecto significativo sobre la contaminación medioambiental. Mientras que, al considerar la industrialización, se observa como esta tiene un efecto significativo para aumentar las emisiones de CO₂ en todos los grupos, y en mayor magnitud dentro del grupo de ingreso medio alto, en el grupo global y en el grupo conformado por países de ingreso medio bajo y bajo se tiende a aumentar las emisiones. Mientras que, los impuestos ambientales resultan significativos solamente en un grupo de países, y sus efectos resultan apenas alentadores.

Para finalizar esta sección se puede decir ampliamente que el efecto inicial del crecimiento económico sobre las emisiones de dióxido de carbono se ve contrastado con estimaciones de mayor complejidad como la estimación Threshold, aunque si bien se confirma una relación de largo plazo entre esta variable y las de control, lo cierto es que, al existir una relación de quiebre estructural o no lineal, los resultados de largo plazo pueden verse desplazados por los que consideran este efecto umbral, y el cual demuestra que, el aumento del PIB per cápita luego del punto de quiebre acrecienta los niveles de contaminación en su mayoría.

Tabla 11*Resultados de la regresión de umbral PIB per cápita*

	Global	Ingreso alto	Ingreso medio alto	Ingreso medio bajo y bajo			
	Umbral=PIB per cápita	Umbral=PIB per cápita	Umbral=PIB per cápita	Umbral=PIB per cápita			
PIB per capita < 6.49	0.376*** (-4.560)	PIB per capita < 10.22	0.144 (-1.950)	PIB per capita < 9.09	1.166*** (-5.60)	PIB per capita < 6.50	-0.501*** (-4.41)
PIB per capita ≥ 6.49	0.464*** (-5.760)	PIB per capita ≥ 10.22	0.165* (-2.230)	PIB per capita ≥ 9.09	0.960*** (-4.65)	PIB per capita ≥ 6.50	-0.445*** (-3.98)
Industria	0.0999*** (-3.460)	Industria	0.023 -0.970	Industria	0.310*** (-3.64)	Industria	0.523*** -15.660
Capital humano	0.058 (-1.060)	Capital humano	-0.225** (-2.65)	Capital humano	0.036 -0.340	Capital humano	0.129 -1.960
Energía renovable	-0.257*** (-10.76)	Energía renovable	-0.114*** (-6.36)	Energía renovable	-0.444*** (-4.01)	Energía renovable	-0.365*** (-5.52)
Impuesto ambiental	0.0428* (-2.170)	Impuesto Ambiental	-0.002 (-0.14)	Impuesto ambiental	0.175*** -3.460	Impuesto ambiental	-0.004 (-0.18)
Exportación de recursos naturales	-0.00510* (-2.32)	Exportación de recursos naturales	0.00539* (-1.970)	Exportación de recursos naturales	0.016 -1.760	Exportación de recursos naturales	0.003** (-2.64)
Constante	4.644*** (-9.270)	Constante	10.02*** (-17.990)	Constante	9.146*** (-7.950)	Constante	1.620* (-2.110)
Observaciones	1716.000	Observaciones	910.000	Observaciones	468.000	Observaciones	338.000

Nota. * representa la significancia estadística al * p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

6.3 Objetivo específico 3

Contrastar el comportamiento de la recaudación fiscal ambiental en el medio ambiente por grupos de países mediante la utilización de técnicas econométricas de umbral.

Para responder al objetivo 3, se parte básicamente del mismo análisis realizado en el objetivo 2, con la diferencia que en este punto resulta de gran importancia evaluar por separado el impacto que tiene específicamente la recaudación fiscal ambiental o los impuestos ambientales sobre los niveles de contaminación en los distintos grupos de países. Los resultados obtenidos mediante la estimación FGLS permitieron dilucidar que los impuestos ambientales no tienen un efecto significativo en la reducción del CO₂. Dichos resultados se vieron invalidados ante la presencia de dependencia de sección transversal, y se afirma que las variables tienden a cointegrar en el largo plazo.

Con respecto a la estimación de umbral considerando al PIB como variable de quiebre, se pudo observar que los impuestos ambientales casi no ejercen ningún efecto en la mayoría de los grupos analizados, lo que refleja aparentemente una nula cultura de responsabilidad ambiental si solamente se toma como consideración un modelo de crecimiento económico sin aplicación de límites ambientales. Dicho esto, se utilizó la variable de los impuestos como umbral en vez del PIB, para evaluar un escenario donde el crecimiento se rija por límites de contaminación y conciencia ambiental.

Por lo que, en la Tabla 12 se resumen los posibles valores que pueden adoptar el modelo único o doble de umbral de la recaudación fiscal ambiental sobre las emisiones de CO₂ y el conjunto de variables. Se puede observar entonces que, a nivel global el porcentaje de impuestos ambientales con relación al PIB que se cobra es realmente bajo, alcanzando solamente un 0.12% del PIB global, de manera contraria el grupo de ingresos altos tiene un umbral mayor al resto de grupos al obtener un valor de 2.88% del PIB.

Tabla 12*Prueba de detección de umbral de Impuesto ambiental*

Grupo	Modelo	Umbral	Bajo	alto
Global	Th-1	0.10	0.07	0.12
	Th-21	0.12	0.10	0.15
	Th-22	1.76	1.75	1.77
Ingreso alto	Th-1	2.88	2.88	2.89
	Th-21	2.89	2.82	2.89
	Th-22	1.43	1.40	1.44
ingreso medio alto	Th-1	-0.47	-0.41	1.01
	Th-21	1.01	1.01	1.02
	Th-22	-0.01	-0.11	0.09
Ingreso medio bajo y bajo	Th-1	1.00	0.98	1.03
	Th-21	1.18	1.07	1.19
	Th-22	1.49	1.47	1.53

Sin embargo, la significancia estadística hallada en la Tabla 13 permite rechazar la existencia de un efecto umbral en el grupo de ingreso alto y el grupo de ingreso medio bajo y bajo, dado que, el valor de la probabilidad calculada es mayor a 0.05 y los valores críticos referenciales son mayores al F estadístico, de esta forma solamente se halla una ligera evidencia de umbral en el grupo global de países y en el grupo de ingreso medio alto, por lo cual, se toma a consideración como submuestra representativa a estas economías.

Tabla 13*Prueba de significancia de umbral de impuesto ambiental*

Grupo	Umbral	RSS	MSE	F- estadístico	Probabilidad	Valor crítico %		
						0.1	0.05	0.01
Global	Único	213.08	0.13	77.25	0.00	21.86	27.24	38.26
	Doble	212.41	0.13	5.33	0.83	24.21	29.42	44.03
Ingreso alto	Único	38.14	0.04	6.58	0.77	24.19	39.74	56.37
	Doble	37.91	0.04	5.36	0.79	22.40	30.66	50.89
Ingreso medio alto	Único	136.79	0.31	30.24	0.03	20.56	25.78	40.10
	Doble	138.75	0.31	-6.24	1.00	22.48	32.05	45.99
Ingreso medio bajo y bajo	Único	12.42	0.04	11.86	0.49	22.92	27.87	31.66
	Doble	12.03	0.04	10.28	0.47	17.41	19.55	22.72

Además, se debe mencionar que la estimación lineal resultaría inconsecuente para explicar el comportamiento de las variables que han presentado un proceso no lineal de umbral. No obstante, los resultados de la estimación de umbral para comprobar el efecto de los impuestos ambientales sobre las emisiones de CO₂ carecen de significancia en la mitad de los grupos analizados, hallándose evidencia estadística de un efecto reductor de manera global y, en el grupo ingreso medio alto, aunque, si bien en todos los grupos se muestra dicho efecto la significancia estadística no permite aceptar los resultados como válidos en la explicación.

Dentro de este grupo, al considerar los impuestos ambientales, las actividades industriales y el PIB no logran disminuir sus efectos adversos, por el contrario, son aún más fuertes que el efecto de umbral. Empero, si logran hacerlo la energía renovable, mientras que, el capital humano no logra un efecto significativo. Como era de esperarse dentro del grupo de ingreso alto y de ingreso medio bajo no hay ningún tipo de relación que permita hacer inferencias consistentes.

Para culminar, la síntesis de resultados de las estimaciones econométricas han permitido corroborar que en cada una de estas el impacto que tienen los impuestos que regulan la emisión de gases contaminantes es casi nulo en general, los esfuerzos hechos por cada país miembro de cada una de las muestras dejan aun espacio para la discusión y el análisis, pues basado en la evidencia del caso, los sistemas de contabilidad ambiental aún están siendo laxos o de por si son ignorados por las empresas, lo cual se ve reflejado en la actividad industrial y el aumento del crecimiento económico basado en actividades sujetas a energías no renovables.

Tabla 14*Resultados de la regresión de umbral (Impuesto ambiental)*

	Global	Ingreso alto	Ingreso medio alto	Ingreso medio bajo y bajo			
	Umbral= Impuesto ambiental	Umbral= Impuesto ambiental	Umbral= Impuesto Ambiental	Umbral= Impuesto ambiental			
Impuesto ambiental < 0.10	1.508*** -8.390	Impuesto ambiental < 2.88	0.127** -2.700	Impuesto ambiental < -0.47	1.568*** -5.340	Impuesto ambiental < 1.00	0.116 -1.650
Impuesto ambiental ≥ 0.12	0.053* -1.510	Impuesto ambiental ≥ 2.88	0.0496* -1.980	Impuesto ambiental ≥ 1.01	-0.073* (-0.55)	Impuesto ambiental ≥ 1.18	-0.0935* (-2.15)
Industria	0.108*** -3.760	Industria	0.035* -1.490	Industria	-0.253** (-2.82)	Industria	0.548*** -15.690
Capital humano	0.124* -2.290	Capital humano	-0.126 (-1.46)	Capital humano	0.135 -1.200	Capital humano	0.189** -2.740
Energía renovable	-0.276*** (-11.61)	Energía renovable	-0.133*** (-7.31)	Energía renovable	-0.464*** (-3.95)	Energía renovable	-0.247*** (-3.57)
Exportación de recursos naturales	-0.003 (-1.51)	Exportación de recursos naturales	0.00579* -2.070	Exportación de recursos naturales	0.017 -1.890	Exportación de recursos naturales	-0.00321* (-2.02)
PIB per cápita	0.344*** -4.540	PIB per cápita	0.156* -2.060	PIB per cápita	1.160*** -5.330	PIB per cápita	-0.249* (-2.09)
Constante	5.304*** -11.960	Constante	9.413*** -16.690	Constante	7.895*** -7.160	Constante	-1.132 (-1.51)
Observaciones	1716.000	Observaciones	910.000	Observaciones	468.000	Observaciones	338.000

Nota. * representa la significancia estadística al * p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

7. Discusión

7.1 Objetivo específico 1

Analizar y determinar la evolución temporal y correlación gráfica del crecimiento económico y la contaminación ambiental por grupos de países en el periodo 1994-2019.

En primer lugar, al observar la evolución en el tiempo del crecimiento económico para el conjunto global de países se determinó que desde mediados de la década del 90 el PIB ha mostrado una tendencia de constante aumento de manera general en toda la muestra de países. Precisamente la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020) destaca que la expansión comercial de los Estados Unidos desde la década del 90 permitió el crecimiento de su producto interno bruto real, de igual manera en los países europeos se experimentó un dinamismo similar, pero no tan pronunciado como el país ya mencionado. Por lo que este crecimiento fue un punto clave para el aumento del ingreso per cápita, y dicho efecto se expandió a otros países que se beneficiaron del comercio internacional mutuamente.

Por otra parte, en los países de ingreso medio alto, el aumento del PIB per cápita en la década del 90 repuntó a partir de 1995, sin embargo, en países como los pertenecientes a la región latinoamericana los resultados son variados, según la CEPAL (2014) en esta década la mayoría de países de Latinoamérica tuvieron un período de crecimiento más ralentizado luego de la crisis asiática, mientras que, otros tardaron algunos años más. De igual manera, Hofman et al. (2017) concuerdan que las crisis cambiarias y financieras de esta época han provocado etapas recesivas en los países en desarrollo, sin embargo, el nivel de empleo creció considerablemente. Por lo tanto, a pesar de las complicaciones macroeconómicas del contexto internacional, el aumento del empleo disponible, y la demanda internacional de materias primas provocó que los países latinoamericanos incrementaran sus ingresos percibidos.

Al considerar países con menores ingresos, se puede decir que los resultados son más favorables para la región asiática. El crecimiento económico en África subsahariana desde el inicio y hasta finales de 1999 siguió estando en peligro debido a la caída de los precios de los productos básicos, la escasa confianza de los inversores y las perturbaciones ocasionadas por la guerra y el clima adverso (CEPAL, 2020). Desde 1995, el crecimiento económico ha avanzado en promedio 4.3% al año en todo el continente, no obstante, en otros países el crecimiento fue mucho más lento, y en otros países el ingreso por persona disminuyó (Fondo

Monetario Internacional, 2016). Este panorama refleja la importancia que juega el comercio internacional y los precios de las materias primas para el crecimiento económico, sin embargo, en economías poco especializadas se halla mayor riesgo de presentar desfases ante cambios en la coyuntura económica.

En los inicios del nuevo milenio la economía mundial entraba en un proceso expansivo sin precedentes, hasta el año 2008, donde se experimenta una interrupción de esta tendencia creciente que mantenía el PIB, dicha reducción es explicada por la contracción de la demanda agregada que surgió producto del estallido de la burbuja inmobiliaria en Estados Unidos, y con ello las acciones en bolsa de valores en todo el mundo. Para de la Luz Juárez et al. (2015) el efecto de la crisis de 2008 tuvo mayor efecto en otros países, que en el mismo país de origen. Por lo que este efecto se globalizó por los canales comerciales internacionales tanto de países desarrollados como no desarrollados afectando en el corto plazo la liquidez e inversión. Sin embargo, en la siguiente década se observó una recuperación favorable gracias a la fluctuación de los precios de las materias primas.

Por otra parte, en lo que respecta al ámbito ambiental, las emisiones de CO₂ han ido aumentando de manera constante a lo largo del tiempo conforme los requerimientos de la economía internacional; a diferencia del crecimiento económico esta no ha sufrido grandes desfases, si se compara los valores obtenidos por el PIB en épocas de crisis o inestabilidad, pues los niveles de contaminación se han mantenido constantes, lo que genera mayor preocupación, al tratarse de un fenómeno que se presenta de forma inesperada. Temkin Yedwab et al. (2018) advierte que las emisiones asociadas al nivel de globalización crecen más en los países pobres que en los países ricos. Por lo que los modelos de crecimiento basados en el extractivismo presente en la mayoría de economías en vías de desarrollo pueden resultar mayormente perjudiciales en largo plazo.

Esto es algo que ya se ha evidenciado en países de menos ingresos que incluso han sobrepasado la cuota de contaminación que naciones más industrializadas, tal es el caso de India, Pakistán, Nigeria, países donde las emisiones de CO₂ por metro cuadrado en zonas urbanas llegan incluso a duplicar. Es por ello que, la preocupación por la conservación ambiental durante la década 2000-2010 en todas las regiones y países al rededor del mundo han comenzado a concientizar sobre el impacto negativo que los patrones de consumo de energía, el crecimiento del PIB, entre otras pueden generar externalidades sobre el ecosistema.

(Campo & Olivares, 2013). La mira de las autoridades económicas y políticas están sobre la protección ambiental y la forma de consolidarla con un crecimiento acorde a la misma.

En consecuencia, entrando a la segunda sección del análisis de este objetivo, los resultados obtenidos mediante la estimación de correlación gráfica entre las variables demuestran que hay evidencia suficiente que permite rechazar la hipótesis ambiental de Kuznets, puesto que, a pesar que la forma teórica de U invertida se encuentra presente en la mayoría de grupos, la dispersión de los datos no se ajusta a dicha tendencia. Resultados similares a los de Romero & De Jesús (2016); Kong & Khan (2019); Jahanger et al. (2023) quienes confirman que en los países desarrollados como en vías de desarrollo, el uso de energías fósiles conlleva a que la generación de desechos no biodegradables se acreciente. Por lo que se concluye que el crecimiento económico no tiene la capacidad de absorber las externalidades ambientales conforme incrementa su nivel.

En el grupo de ingresos altos esta tendencia es similar, es decir, que sin importar si los países poseen mayor capacidad de producción la capacidad de asumir las externalidades ambientales no es totalmente posible. Por otro lado, el grupo de países de ingresos medios bajos y bajos también muestran dicha tendencia, con la diferencia de poseer una mayor dispersión de datos. Los resultados pueden verse respaldados por la investigación de Wang, et al. (2016); Zomorodi & Zhou (2016); Leitão et al. (2022) quienes exponen que el consumo de energía aumenta las emisiones de carbono y la inversión extranjera directa confirma la hipótesis del halo de contaminación. Por lo cual, la contaminación se encuentra en un grado correlacional directo en estos países, descartando la posibilidad que el crecimiento económico mitigue las externalidades.

En síntesis, en este objetivo se pudo observar, analizar y contrastar el comportamiento evolutivo y correlacional a través del tiempo de estudio de las variables de interés para este modelo, reflejando que el PIB per cápita ha ido incrementándose de manera continua conforme avanza el tiempo, presentando ligeras fluctuaciones, mismas que apenas son notadas en el crecimiento de las emisiones de CO₂, ante este escenario, la correlación entre estas dos variables reflejaron una tendencia a la baja en la mayoría de grupos, sin embargo, la evidencia empírica encontrada permite cuestionar la validez de la correlación en este primer proceso de análisis.

7.2 Objetivo específico 2

Contrastar el comportamiento del crecimiento económico en el medio ambiente por grupos de países mediante la utilización de técnicas econométricas de umbral.

La degradación ambiental ha sido y es uno de los principales problemas de la economía mundial, si bien es cierto que con el pasar del tiempo ha existido un mayor interés sobre el tema, hallar un punto de convergencia entre estos sigue siendo tema de debate. Es por ello que la discusión de los resultados pertenecientes al objetivo dos, ofrece información pertinente que permite comparar, dilucidar y contrastar con objetividad los resultados con los de otros autores. En ese orden, se realizó un contraste entre la estimación por Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles, cointegración de largo plazo con la prueba de Westerlund (2007) y regresión de umbral de Hansen (1999).

Los resultados del análisis lineal en conjunto con la cointegración de largo plazo permitieron confirmar que existe una relación de convergencia entre la contaminación ambiental y el crecimiento económico para todos los países. Bajo los lineamientos de la CKA, para que un país logre mitigar el efecto adverso de la contaminación, este debería destinar mayores recursos a ahondar los esfuerzos aplicados al tratamiento de residuos y componentes tecnológicos para la contención de los contaminantes producto del incremento de ingresos. Sin embargo, aceptar como válida la hipótesis ambiental de Kuznets resultaría equívoca, una de las razones es porque el daño ambiental resulta irreversible, en segundo lugar, se debe a la escasa transferencia tecnológica hacia los países en desarrollo, y tercero, se debe a la trampa de pobreza que asecha a los países de más bajos ingresos (Zilio, 2012). Por lo tanto, no se halla evidencia suficiente para poder corroborar este planteamiento y sugerirlo como medida de política.

Adicional, con la estimación de quiebre estructural se puede observar un cambio drástico, pues a diferencia del análisis lineal, en todos los grupos de países el PIB per cápita induce al crecimiento de los niveles de la contaminación ambiental, siempre que el umbral del PIB sea mayor en valor logarítmico 9.09 %, o expresado en valores monetarios 16,754.98 \$. Estos resultados son similares a los hallados por Sirag et al. (2017) quienes declaran que en la mayoría de países, y generalmente los de ingresos bajos y medios, el crecimiento del PIB per cápita es positivo y significativamente relacionado con las emisiones de CO₂. Por lo que la dinámica del crecimiento económico no considera los efectos secundarios del aumento de la

actividad industrial, y la producción en general, pero, se permite dilucidar que sus beneficios no son suficientes para contrarrestar las externalidades, por lo que se rechaza la validez de la hipótesis de Kuznets con esta segunda estimación.

De acuerdo con Sachs (2015) el aumento de la producción mundial se ha incrementado al menos 100 veces más que en la época de la revolución industrial, situación que ha tenido estragos climáticos significativos sobre el planeta. Andreu & Bengoncha (2015) también llegan a la conclusión que el aumento del PIB tiene efectos directos el aumento de las emisiones de CO₂ en países desarrollados y en vías de desarrollo. Constatándose que cuanto más rica se vuelve una economía, más emisiones de CO₂ per cápita tiende a generar (Li et al., 2020). Contradiendo totalmente la CKA, y demostrando que tanto en países de bajos y altos ingresos, no se cumple. Por lo que con base en la evidencia mostrada resulta inapropiado adoptar el postulado de la curva ambiental como justificante para políticas que favorezcan el plan económico, considerando la coyuntura actual de la mayoría de países con bases extractivistas resultaría irresponsable proponer que un modelo ortodoxo que no tome a consideración el cuidado del ecosistema.

Dicho esto, y dada la convergencia en un punto del largo plazo, las actividades que involucran a todo el proceso productivo desde su inicio hasta su final conllevan inherentemente al aumento de la contaminación, desde la obtención de los recursos de la naturaleza, hasta la culminación del proceso de creación de valor agregado. Situación que es recalada por Kasperowicz (2015) y Odugbesan & Rjoub (2020), en sus análisis de largo plazo para países de altos ingresos. Por lo cual, buscar los mecanismos adecuados para cambiar la forma en cómo se desenvuelven las actividades productivas resultan extremadamente necesarios en el largo plazo, para ello se deben aplicar de manera eficaz políticas de prevención y reciclaje de residuos que sean más estrictas.

Con base en la evidencia teórica y empírica se puede refutar los resultados hallados del análisis lineal, puesto que se ha demostrado como la contaminación a lo largo del tiempo, lejos de reducirse, se ha recrudecido conforme se aumentan los niveles de ingresos percibidos por persona, y esto va ligado precisamente al modo de producción en el que se ha venido desarrollando la sociedad, para Fazio (2019) el uso intensivo de combustibles fósiles en el proceso productivo se ha provocado un incremento de los gases de efecto invernadero considerablemente, y con ello el aumento de la temperatura y demás fenómenos climáticos en todo el mundo. En el caso de países menos desarrollados el impacto agrava mucho más su

situación de vulnerabilidad (Ardakani et al., 2019). Resaltando de esta forma que cuando el crecimiento económico sobrepasa el umbral definido la industria provoca un incremento en las emisiones de dióxido de carbono dentro del grupo global de países, en el grupo ingresos altos y en los países de ingresos medios bajos y bajos.

Durante varios siglos con el uso y abuso de los recursos naturales como el carbón o el gas natural en la industria ha sido la base de la producción de las grandes y pequeñas economías, desde el inicio de la era industrial en el mundo, el número de emisiones de contaminantes ambientales se ha incrementado constantemente hasta la actualidad (Sánchez et al., 2019). Si bien la tecnología ha permitido avanzar hacia nuevas formas de producción, el uso de combustibles fósiles, la extracción indiscriminada de recursos del subsuelo amenaza la conservación ambiental, con mayor magnitud en los países menos desarrollados (Días, 2020). Esto se debe en parte a que estos países pueden depender en gran medida de la explotación de recursos naturales como una fuente de ingresos y carecen de la capacidad técnica y financiera para implementar prácticas ambientales sostenibles. Por lo tanto, es importante abordar estos desafíos de manera responsable y sostenible, fomentando la innovación tecnológica para reducir la dependencia extractivista.

En relación al proceso productivo, se evaluó el rol de la industria, hallando que esta mantiene una relación positiva con la contaminación ambiental. Dichos resultados son similares a los encontrados por Yangari et al. (2018) quienes concluyen que la industria mantiene una relación positiva y estadísticamente significativa para con las emisiones de dióxido de carbono a nivel global y en el grupo de países de ingresos medios altos, bajos, y extremadamente bajos. En el largo plazo, dichos efectos parecen atenuarse mucho más, al respecto manera similar Munir & Ameer (2020); Ullah et al. (2021) concluyen que en el largo plazo un aumento de la industrialización tiene un efecto positivo y significativo sobre las emisiones de CO₂. Por lo tanto, el aumento del proceso industrial que también se encuentra ligado al crecimiento de los países conlleva al crecimiento inherente de los niveles de contaminación ambiental, tanto para las economías que cuentan con mayores niveles de maquilas y fábricas de último nivel, como para los países cuya estructura industrial es incipiente y dependen de la explotación de sus recursos.

Por otro lado, al analizar el capital humano se evidencia que este presenta un efecto positivo en la mayoría de grupos analizados, salvo por el grupo de ingreso medio alto, donde se logra observar que, si existe un efecto reductor en la contaminación, dichos resultados tienden a ser un tanto controversiales dado que, se esperaría que conforme se incrementa la educación, y el capital disponible por persona, un aumento del capital humano vendría acompañado por un aumento de la conciencia ambiental y por ende lograr reducir los niveles de CO₂ no aumentarlos. Resultados que concuerdan con el trabajo de Ramos & Jumbo (2018). Mientras que, con la estimación umbral, solamente en el grupo de ingresos altos existe un efecto reductor del CO₂, y, en el resto de países no es estadísticamente significativo, lo que comprueba que cuando el PIB pasa el punto de umbral los efectos de un mayor capital humano son inobservables en países que existe poca o nula conciencia ambiental.

Por lo que se podría decir que, este efecto reductor de la contaminación parece ser propio de los países de altos ingresos cuyo capital humano se encuentra altamente desarrollado, investigaciones como las de Yao et al. (2020) respaldan los resultados al comprobar que, en el largo plazo el capital humano avanzado en forma de educación terciaria, está estrechamente vinculado a la reducción de emisiones de CO₂ en países de altos ingresos de la OCDE. Al respecto, Khan (2020) también expone que cuando se superan ciertos niveles de escolaridad, las inscripciones adicionales reducen las emisiones de CO₂ fomentando la conciencia medioambiental y facilitando el uso de tecnologías respetuosas con el medio ambiente. Aunque, Iorember et al. (2021) señalan que en Sudáfrica el capital humano no ha obtenido los resultados esperados. Por lo tanto, el capital humano puede ser un factor importante en la reducción de la contaminación no solo en países de altos ingresos, los países en desarrollo también pueden adoptar practicas sostenibles si se fomenta el desarrollo de tecnologías y prácticas más sostenibles, así como un cambio cultural hacia prácticas más ecológicas y conscientes del medio ambiente.

Por otro lado, tomando en cuenta la energía renovable, y considerando un punto de inflexión del crecimiento económico, esta muestra que puede lograr reducir los niveles de contaminación en todos los grupos de países. De manera similar, Aye & Edoja (2017) destacan que el consumo de energía renovable ejerce un efecto positivo sobre la emisión de dióxido de carbono de manera global. En concordancia, Mahmood et al. (2019); Maneejuk et al. (2020); Khan et al. (2021); Simionescu (2021) desmienten la hipótesis de Kuznets y destacan que el consumo de energías renovables puede ayudar disminuir la degradación ambiental también en

países en vías de desarrollo. Por lo tanto, debido al gran potencial energético que poseen países de menores ingresos como por ejemplo los latinoamericanos con números recursos hídricos y naturales, la generación de energías limpias se puede producir a menores costes.

Para culminar esta sección, se puede decir de forma resumida y precisa que el análisis del crecimiento económico como un factor reductor de la contaminación se ha visto expuesto y sujeto al debate, ya que, el aumento del PIB per cápita conduce a un aumento de la degradación ambiental notorio, el contraste entre la relación de cointegración de largo plazo y la estimación no lineal dieron a conocer que en la mayoría de grupos la hipótesis EKC no es significativa, por el contrario, al pasar cierto umbral el crecimiento parece recrudecer la degradación ambiental, pese a los esfuerzos realizados por apearse a los lineamientos del acuerdo de París, el modelo económico global no ha permitido desligarse de la contaminación en el proceso productivo.

7.3 Objetivo específico 3

Contrastar el comportamiento de la recaudación fiscal ambiental en el medio ambiente por grupos de países mediante la utilización de técnicas econométricas de umbral

Continuando con el tercer objetivo, se evaluó no solo el efecto de umbral del crecimiento económico, sino, también el papel que desempeñan los impuestos ambientales en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Hasta ahora se ha demostrado que la hipótesis de Kuznets ambiental (CKA) no ha sido corroborada en los grupos de países analizados. Por lo cual, surge la necesidad de entender este comportamiento al reconsiderar los posibles efectos que se podrían obtenerse si se aplica como punto de inflexión los impuestos fiscales a la contaminación en vez de evaluar como responden ante el incremento sustancial del PIB per cápita.

Al realizar el análisis lineal con la estimación FGLS y cointegración, se pudo observar que la relación entre los impuestos ambientales y el nivel de contaminación se mantienen estables en el largo plazo generando un efecto reductor, aunque este es tenue. Resultados similares a los hallados por Deng et al. (2022) quienes distinguen que existe un efecto heterogéneo entre la competencia fiscal y la innovación en tecnologías verdes que puede verse afectada por el nivel de desarrollo económico de cada país. Esta alternativa ambiental puede estar sujeta a duda y defendida por distintos sectores económicos y políticos, prueba de ello, actualmente los Objetivos del Desarrollo Sostenible tienen fijado como meta reducir los niveles

de contaminación a 2030, sin embargo, sus antecesores, las Metas del Milenio no lograron cumplir con garantizar la sostenibilidad medioambiental.

Por lo que en el contexto actual llegar a cumplir dichos objetivos se torna un tanto complejo, dado el escenario en donde incluso países desestimaron a los impuestos medioambientales, tal es el caso de Estados Unidos y Australia que durante algunos años abandonaron la iniciativa verde, aunque hace poco se retomaron nuevamente tales responsabilidades, en su momento esta se analizó como una afectación económica al gravar las principales actividades generadoras de CO₂ y no como una solución. De igual manera, en India desde la década del 70 existen regulaciones ambientales como en Alemania, sin embargo, en estos dos países la contaminación es tan alta sin importar los niveles de ingresos y los impuestos ambientales que se han gravado (Masron & Subramaniam, 2020). Por lo que aunque estas medidas pueden ser efectivas en algunos casos, también pueden ser difíciles de aplicar y pueden enfrentar resistencia de ciertos sectores económicos. Además, la falta de cumplimiento y la aplicación inconsistente de las regulaciones también pueden limitar su efectividad.

Mientras que, otras investigaciones como las de Martínez (2013) demuestran que los impuestos ambientales gravados a la industria en Suecia tienen un efecto positivo en términos de uso de energía y disminución de emisiones de CO₂. De manera similar Ike et al. (2020) defiende que las iniciativas de política fiscal hacia tienen implicaciones de largo plazo para mejorar la calidad ambiental. Por otro lado, Mortha et al. (2021) expone que al aplicar el impuesto sobre el carbono en Japón se redujo efectivamente las emisiones de CO₂ y los gases de efecto invernadero, incluso llegando a controlar variables demográficas y económicas. Sin embargo, el efecto no es atribuible solamente a países desarrollados, Asongu (2018) afirma que, los países de ingresos medios también están asociados con instrumentos más eficaces para abordar los desafíos a la degradación ambiental

Pese a la controversia, los impuestos sobre el carbono y la energía se consideran una herramienta eficaz y muy recomendada por los economistas y científicos medioambientales en el largo plazo (Ghazouani et al., 2021). Actualmente, aproximadamente el 79% de los países en el mundo han llevado a cabo como mínimo un instrumento de adaptación ambiental, lo que representó un aumento del 7% a diferencia de 2020, también cabe destacar que, las acciones de adaptación llevadas a cabo crecen lentamente en los diez principales países donantes de financiamiento para estos proyectos de conservación (PNUMA, 2021). Por lo cual, los

impuestos ambientales parecen ser aceptados de mejor manera en países cuyas bases de transferencia tecnológica son más eficaces y abiertas al mundo.

En largo plazo los impuestos ambientales lograrían reducir considerablemente el nivel de contaminación derivado del proceso productivo y también el que involucra los agentes económicos más pequeños como los hogares convencionales, para Domon et al. (2022) la contaminación en el largo plazo se ve explicada por el aumento del consumo de energía, la producción y el transporte, aplicar un el impuesto de tipo pigouviano logra reducir efectivamente las emisiones de CO₂. Sin embargo, un impuesto más alto podría castigar a las empresas que emiten más, podría aumentar la inversión en tecnología para mejorar los procesos técnicos de prestación de servicios ambientales (Adom et al., 2018), por lo cual aplicarlos resulta un trabajo de arduo análisis para los hacedores de política.

Si a ello se suma el rol que desempeña la industria, se logró determinar que el total de la industria es estadísticamente significativa para explicar el aumento de las emisiones de CO₂ en todos los grupos de países. Al respecto, IRENA (2016) plantea que los principales sectores emisores de CO₂ a nivel mundial son la generación de electricidad y la industria de combustibles, responsables en conjunto de aproximadamente el 65% de todas las emisiones de CO₂. Para Yao et al. (2021) la industrialización es la principal fuerza impulsora de la expansión de la escala industrial y contaminación ambiental. Por lo tanto, la regularización con tasas que graben las actividades de alto impacto industrial debe ser aplicada como un objetivo dentro de los planes de desarrollo de cada país.

Sin embargo, el principal problema al que se enfrenta las tasas impositivas ambientales son la reducción de los ingresos, dado a que se tomaría como un costo adicional que podría desincentivar la producción, a menos que los consumidores estén completamente conscientes de la afectación ambiental. Aquí toma relevancia el rol de la energía renovable para coadyuvar a la disminución de la contaminación. Según Wu et al. (2020), el consumo de energía renovable reduce considerablemente las emisiones de carbono, pero el efecto de promoción aumenta a medida que aumenta el nivel de regulación ambiental. Por su parte, Wang et al. (2021) exponen que el consumo de energías renovables logra mejorar notablemente la calidad del medio ambiente, en el largo plazo. Por lo tanto, la ejecución de políticas públicas para la conservación ambiental debe ir de la mano de un marco regulatorio ambiental y la promoción de energía limpia.

Para finalizar, se hace hincapié en la necesidad de abordar los desafíos ambientales de manera más efectiva, se requiere una combinación de medidas regulatorias, económicas y de mercado. Por ejemplo, puede ser útil combinar regulaciones con incentivos económicos, como subsidios para la adopción de tecnologías limpias o sistemas de comercio de emisiones que establezcan un precio para las emisiones contaminantes. También es importante involucrar a las partes interesadas y trabajar en colaboración con el sector privado para desarrollar soluciones sostenibles y económicamente viables. Esto puede incluir la colaboración con empresas para implementar prácticas ambientales sostenibles y fomentar la innovación en tecnologías limpias.

8. Conclusiones

Una vez analizado cada uno de los objetivos y contrastado los resultados obtenidos se llega a las siguientes conclusiones:

Con relación al primer objetivo específico, se concluye que la contaminación ambiental representa una problemática que ha estado presente y en constante crecimiento tanto en países de altos ingresos como de bajos ingresos, la cual viene siendo una externalidad que no ha podido ser separada del proceso de crecimiento económico.

Por otra parte, con relación al segundo objetivo específico se concluye que el vínculo entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental se ve sustentada por un proceso diferenciado y heterogéneo que considera diversos actores y variables en el largo plazo, por lo que se la hipótesis ambiental de Kuznets no concilia la conservación ambiental con la prosperidad económica, por el contrario, el efecto de la acción humana al aumentar la frontera de producción y explotar los recursos no renovables genera un impacto negativo.

En consecuencia, se concluye que tanto la exportación de recursos naturales, así como el valor de la industria, presentan un efecto positivo y significativo sobre la degradación ambiental, por lo cual, la matriz productiva industrializada de países de altos ingresos es igual de contaminante que la producción basada en la extracción de recursos primarios de los países en desarrollo, lo que refleja un escenario crítico para la conservación ambiental y el mantenimiento de un ritmo de crecimiento sustentable..

Con relación al tercer objetivo de investigación se concluye que los impuestos ambientales tienen el potencial de ser una herramienta de mitigación de la degradación ambiental, la aplicación de dichos impuestos deben ser una parte importante de la planificación económica y política de largo plazo, sin embargo, el panorama al que se enfrenta la lucha contra la contaminación necesitará de la implementación de todos los países por igual.

Adicionalmente, se concluye que la energía de fuentes renovables posee un efecto de directo sobre la disminución de la contaminación del medioambiente, por lo cual, la generación de energía limpia y sostenible es una solución viable a largo plazo, no obstante, los contaminantes fósiles y el consumo excesivo de energía aún amenazan los esfuerzos por cambiar la forma de producción actual.

Finalmente, se concluye que mediante el análisis econométrico la hipótesis de investigación fue comprobada, y este trabajo de investigación sirve como nuevo aporte a la literatura existente acerca de la hipótesis ambiental de Kuznets, la cual se ha analizado en conjunto con el rol de los impuestos ambientales.

9. Recomendaciones

De acuerdo a los resultados y conclusiones planteadas en los apartados anteriores, resulta imperativo proponer las siguientes recomendaciones de política que se desprenden del estudio.

En primer lugar, se recomienda no utilizar los conceptos de la curva ambiental de Kuznets como justificativo de elaboración de políticas de desarrollo y conservación ambiental, por el contrario, se deben priorizar las políticas de concientización ambiental, promover la reutilización y cultura ambiental para obtener resultados en el largo plazo.

Adicionalmente se recomienda a todos los países, y, especialmente a los menos desarrollados promover la inversión nacional y extranjera de carácter verde, es decir todos los proyectos que se sustenten en un modelo de preservación ambiental que sirvan para mitigar los daños que la industria, la agricultura tradicionalmente han ocasionado, especialmente direccionándose a una industria de carácter sostenible y tecnificada.

Se recomienda a los gobiernos de los países de ingresos más bajos la implementación y promoción de la inversión nacional en bonos verdes, esto con el fin de buscar financiamiento mediante la emisión de títulos de deuda usados para la creación de proyectos que persigan beneficios ambientales o de lucha contra el cambio climático a largo plazo.

La recaudación de impuestos es muy importante, aunque los resultados obtenidos no sean tan concluyentes, no se puede pasar por alto este instrumento, por lo que, se recomienda reestructurar los sistemas existentes de tasas impositivas ambientales y en algunos países que aún no poseen un marco regulatorio implementar este sistema de cobro de impuestos ambientales para ver resultados en el largo plazo.

Se recomienda a todos los países, y con mayor ahínco a los países de medios y bajos ingresos potenciar su matriz generadora de energías limpias, esto debido a su gran capacidad y fuentes de recursos naturales, la transición de un sistema basado en energías fósiles hacia uno basado en energías renovable conduciría a un mejoramiento tanto ambiental como económico en el largo plazo, beneficiando con plazas de trabajo y reduciendo los niveles de contaminación actual.

Como recomendación final, este trabajo de investigación propuso evaluar desde un contraste la dinámica ambiental del crecimiento económico, si bien la muestra de países fue bastante limitada en función de la información disponible, esta investigación puede servir como punto de partida para que nuevos trabajos amplíen el rango de análisis o incluso agregar nuevas variables que hayan podido pasar desapercibidas.

10. Bibliografia

- Adom, P. K., Kwakwa, P. A., & Amankwaa, A. (2018). The long-run effects of economic, demographic, and political indices on actual and potential CO₂ emissions. *Journal of environmental management*, 218, 516-526.
- Akar, H. (2012). Ekonomik Büyüme ve Çevresel Vergilerin Emisyon Miktarına Etkileri/The Effect of Economic Growth and Environmental Taxes On Quantity of Emissions. *Journal of History Culture and Art Research*, 1(4), 211-246.
- Andreu, L. & Bengoncha, A. (2015). Determinants of CO₂ emissions in Mediterranean countries. *Department of Economy*
- Anpilov, A., Sorochaikin, N., & Sorochaikin, I. (2021). “Kuznets curve” and correlation between wealth and poverty.
- Ardakani, M. K., & Seyedaliakbar, S. M. (2019). Impact of energy consumption and economic growth on CO₂ emission using multivariate regression. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100428.
- Armen, S. (2017). Environmental Kuznets Curve: new evidence based on a dynamic panel threshold model. *Quantitative Economics Quarterly*, 14 (2), 215-232.
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., ... & Pimentel, D. (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological economics*, 15(2), 91-95.
- Asongu, S. A. (2018). CO₂ emission thresholds for inclusive human development in sub-Saharan Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(26), 26005-26019.
- Aye, G. C., & Edoja, P. E. (2017). Effect of economic growth on CO₂ emission in developing countries: Evidence from a dynamic panel threshold model. *Cogent Economics & Finance*, 5(1), 1379239.
- Balsalobre, D., Shahbaz, M., Ponz-Tienda, J. L., & Cantos-Cantos, J. M. (2017). Energy innovation in the environmental Kuznets curve (EKC): a theoretical approach. In *Carbon footprint and the industrial life cycle* (pp. 243-268). Springer, Cham.
- Balsalobre-Lorente, D., Leitão, N. C., & Bekun, F. V. (2021). Fresh validation of the low carbon development hypothesis under the EKC Scheme in Portugal, Italy, Greece and Spain. *Energies*, 14(1), 250.
- Bamati, N., & Raoofi, A. (2020). Development level and the impact of technological factor on renewable energy production. *Renewable Energy*, 151, 946-955.

- Banco Mundial (2016). El costo de la contaminación del aire: fortalecer el caso económico para la acción. Banco Mundial, Washington, DC. Editorial del Banco Mundial.
- Bastiat, F. (1851). *Harmonies économiques*. Guillaumin et Cie. augmenter des manuscrits par l'auteur. Edition 2.
- Baumol, W., & Oates, W. (1971). The use of standards and prices for the protection of the environment. In *The economics of the environment* (pp. 53-65). Palgrave Macmillan, London.
- Beckerman, W. B. (1972). Economic development and the environment: a false dilemma.
- Beşe, E., & Kalaycı, S. (2021). Environmental Kuznets curve (EKC): empirical relationship between economic growth, energy consumption, and CO2 emissions: evidence from 3 developed countries. *Panoeconomicus*, (00), 4-4.
- Boulding, K. E. (1966). The economics of the coming spaceship earth. *New York*.
- Bustamante, R. (2020). Econometría de datos de panel con aplicaciones en r studio serie apuntes de clase. Grupo Serie Apuntes de Finanzas y Econometría pág N° 02
- Campo, J., & Olivares, W. (2013). Relationship between co2 emissions, energy consumption and gdp: the case of the civets. *Semestre Económico*, 16(33), 45-66.
- Castillo, P. (2011). Política económica: Crecimiento económico, desarrollo económico, desarrollo sostenible. *Revista Internacional del Mundo Económico y del Derecho*, 3, 1-12.
- Cho, H. (2021). Determinants of the downward sloping segment of the EKC in high-income countries: The role of income inequality and institutional arrangement. *Cogent Economics & Finance*, 9(1), 1954358.
- Chu, L. (2021). Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. *Applied Economics Letters*, 28(7), 612-616.
- Clement, V., Rigaud, K. K., de Sherbinin, A., Jones, B., Adamo, S., Schewe, J., ... & Shabahat, E. (2021). Groundswell Part 2.
- Coase, R. (1959). The problem of social cost. In *Classic papers in natural resource economics* (pp. 87-137). Palgrave Macmillan, London.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020). Panorama Social de América Latina 2018. CEPAL. ISBN: 9213215762
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales. ISBN: 978-92-1-058643-6.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2014). Una década de desarrollo social en América Latina. *Naciones Unidas*. ISBN: 9213222564
- Correa, F. (2003). Economía del desarrollo sostenible: propuestas y limitaciones de la teoría neoclásica. *Semestre Económico*.
- De la Luz Juárez, G., Daza, A. S., & González, J. Z. (2015). La crisis financiera internacional de 2008 y algunos de sus efectos económicos sobre México. *Contaduría y administración*, 60, 128-146.
- De la Ossa, A., & Vallejo, Z., Correa, F. (2007). Regulación ambiental en Colombia: el caso de la tasa retributiva para el control de la contaminación hídrica. *Semestre económico*, 10(19), 27-46.
- Del Valle, J., & Guerra, W. (2012). La multicolinealidad en modelos de regresión lineal múltiple. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 80-83.
- Demissew, S., & Kotosz, B. (2020). Testing the environmental Kuznets curve hypothesis: an empirical study for East African countries. *International Journal of Environmental Studies*, 77(4), 636-654.
- Deng, Y., You, D., & Wang, J. (2022). Research on the nonlinear mechanism underlying the effect of tax competition on green technology innovation-An analysis based on the dynamic spatial Durbin model and the threshold panel model. *Resources Policy*, 76, 102545.
- Dias, R. (2020). El fracking en la encrucijada: Una tecnología que avanza entre la rentabilidad económica y la sustentabilidad medioambiental. *Espiral, revista de geografías y ciencias sociales*, 1(2), 197-208.
- Dogan, E., & Inglesi-Lotz, R. (2020). The impact of economic structure to the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis: evidence from European countries. *Environmental science and pollution research*, 27(11), 12717-12724.
- Domon, S., Hirota, M., Kono, T., Managi, S., & Matsuki, Y. (2022). The long-run effects of congestion tolls, carbon tax, and land use regulations on urban CO2 emissions. *Regional Science and Urban Economics*, 92, 103750.
- Dos Santos, J., Manso, Y., & Narciso, D. (2010). Bases teóricas para el esbozo de un tributo ambiental en Cuba. "Estudio de caso el impuesto de playas". *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 3(9), 3.
- Ekins, P. (1997). The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence. *Environment and planning a*, 29(5), 805-830.

- Falconi, F., Burbano, R., & Cango, P. (2016). La discutible curva de Kuznets. *Document o de trabajo. Flacso: Quito, Ecuador, 19p.*
- Fazio, H. (2019). Cambio climático, economía y desigualdad: los límites del crecimiento en el siglo XXI. Eudeba.
- Figueroa, A. (2013). Crecimiento económico y medio ambiente. *Revista Cepal.*
- Fondo Monetario Internacional (2016). Africa los altibajos del crecimiento. Finanzas y Desarrollo. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2016/06/pdf/fd0616s.pdf>
- Gardiner, R., & Hajek, P. (2020). Interactions among energy consumption, CO2, and economic development in European Union countries. *Sustainable Development, 28(4), 723-740.*
- Georgescu-Roegen (1971). *The Entropy Law and the Economic Process.* Harvard University Press, Cambridge, Mass
- Ghazouani, A., Jebli, M., & Shahzad, U. (2021). Impacts of environmental taxes and technologies on greenhouse gas emissions: contextual evidence from leading emitter European countries. *Environmental Science and Pollution Research, 28(18), 22758-22767.*
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. DOI 10.3386/w3914
- Hansen, B. (1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. *Journal of econometrics, 93(2), 345-368.*
- Hofman, A., Mas, M., Aravena, C., & Guevara, J. F. D. (2017). Crecimiento económico y productividad en Latinoamérica. El proyecto LA-KLEMS. *El trimestre económico, 84(334), 259-306.*
- Hotelling, H. (1931). The economics of exhaustible resources. *Journal of political Economy, 39(2), 137-175.*
- Ike, G. N., Usman, O., & Sarkodie, S. A. (2020). Fiscal policy and CO2 emissions from heterogeneous fuel sources in Thailand: evidence from multiple structural breaks cointegration test. *Science of the Total Environment, 702, 134711.*
- Iorember, P. T., Jelilov, G., Usman, O., Işık, A., & Celik, B. (2021). The influence of renewable energy use, human capital, and trade on environmental quality in South Africa: multiple structural breaks cointegration approach. *Environmental Science and Pollution Research, 28(11), 13162-13174.*
- Isa, Z., Al Sayed, A. R., & Kun, S. S. (2015). Detect the relationship among energy consumption, economic growth and greenhouse gases by panel data approach. *Applied Mathematical Sciences, 9(54), 2645-2656.*

- Islam, M. (2021). Influence of economic growth on environmental pollution in South Asia: a panel cointegration analysis. *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 5(3), 951-973.
- Jahanger, A., Hossain, M. R., Onwe, J. C., Ogwu, S. O., Awan, A., & Balsalobre-Lorente, D. (2023). Analyzing the N-shaped EKC among top nuclear energy generating nations: A novel dynamic common correlated effects approach. *Gondwana Research*, 116, 73-88.
- Jevons, W. S. (1865). *The Coal Question. Can Britain Survive?*, First published in 1865, reprinted by Macmillan in 1906.
- Kasperowicz, R. (2015). Economic growth and CO2 emissions: The ECM analysis. *Journal of International Studies*, 8(3), 91-98.
- Khan, M. (2020). CO₂ emissions and sustainable economic development: New evidence on the role of human capital. *Sustainable Development*, 28(5), 1279-1288.
- Khan, M., & Eggoh, J. (2021). Investigating the direct and indirect linkages between economic development and CO₂ emissions: a PSTR analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(8), 10039-10052.
- Khan, Z., Ali, S., Dong, K., & Li, R. Y. M. (2021). How does fiscal decentralization affect CO₂ emissions? The roles of institutions and human capital. *Energy Economics*, 94, 105060.
- Kong, Y., & Khan, R. (2019). To examine environmental pollution by economic growth and their impact in an environmental Kuznets curve (EKC) among developed and developing countries. *PloS one*, 14(3), e0209532.
- Koyuncu, T., Beşer, M. K., & Alola, A. A. (2021). Environmental sustainability statement of economic regimes with energy intensity and urbanization in Turkey: a threshold regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Kuznets, P. (1992). Korean economic development. *The Journal of Developing Areas*. Vol. 26, No. 2 (Jan., 1992), pp. 273-276
- Labrunée, M. (2018). El crecimiento y el desarrollo. <http://nulan.mdp.edu.ar/2883/1/labrunee-2018.pdf>
- Leitão, N. C., Dos Santos Parente, C. C., Balsalobre-Lorente, D., & Cantos Cantos, J. M. (2022). Revisiting the effects of energy, population, foreign direct investment, and economic growth in Visegrad countries under the EKC scheme. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- Li, G., Fang, C., Wang, S., & Sun, S. (2016). The effect of economic growth, urbanization, and industrialization on fine particulate matter (PM_{2.5}) concentrations in China. *Environmental science & technology*, 50(21), 11452-11459.

- Li, R., Jiang, H., Sotnyk, I., Kubatko, O., & Almashaqbeh YA, I. (2020). The CO2 emissions drivers of post-communist economies in Eastern Europe and Central Asia. *Atmosphere*, 11(9), 1019.
- Mahmood, N., Wang, Z., & Hassan, S. T. (2019). Renewable energy, economic growth, human capital, and CO2 emission: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(20), 20619-20630.
- Malthus, T. (1798). *An essay on the principle of population as it dects the future improvement of society*. London: J. Johnson
- Maneejuk, N., Ratchakom, S., Maneejuk, P., & Yamaka, W. (2020). Does the Environmental Kuznets Curve Exist? An International Study. *Sustainability*, 12(21), 9117.
- Manfeng, L., & Hanjin, X. (2017). Analysis of the Double Threshold Effect of Industrialization and Urbanization in the Proceed of Environment Economic Aggregation. *Management Review*, 29(10), 21.
- Marshall, A. (1890). 1920. *Principles of economics*. London: Mac-Millan, 1-627.
- Masron, T., & Subramaniam, Y. (2020). Threshold effect of institutional quality and the validity of environmental Kuznets curve. *Malaysian Journal of Economic Studies*, 57(1), 81-112.
- Mishan, E. (1967). *The costs of economic growth* (p. 112). London: Staples Press
- Mitić, P., Munitlak Ivanović, O., & Zdravković, A. (2017). A cointegration analysis of real GDP and CO2 emissions in transitional countries. *Sustainability*, 9(4), 568.
- Moralejo, I., Miguel, C., & Legarreta, J. (2009). El desarrollo sostenible a lo largo de la historia del pensamiento económico. *Revista de Economía Mundial*, (21), 87-110.
- Morán, G., & Gonzaga, J. (2017). Análisis de la medición del impacto ambiental como producto del crecimiento económico. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(1), 87-90.
- Mortha, A., Taghizadeh-Hesary, F., & Vo, X. (2021). The impact of a carbon tax implementation on non-CO2 gas emissions: the case of Japan. *Australasian Journal of Environmental Management*, 1-18.
- Munir, K., & Ameer, A. (2020). Nonlinear effect of FDI, economic growth, and industrialization on environmental quality: evidence from Pakistan. *Management of Environmental Quality: An International Journal*.
- Naredo, J. M. (2002). Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva. *Polis. Revista Latinoamericana*, (2).

- Neve, M., & Hamaide, B. (2017). Environmental Kuznets curve with adjusted net savings as a trade-off between environment and development. *Australian Economic Papers*, 56(1), 39-58.
- Observatorio de desarrollo sostenible cambio climático. (2019). Cambio climático y desarrollo sostenible. *Informe la rábida, Huelva*
- Odugbesan, J. A., & Rjoub, H. (2020). Relationship among economic growth, energy consumption, CO2 emission, and urbanization: evidence from MINT countries. *Sage Open*, 10(2), 2158244020914648.
- Organización de la Naciones Unidas (2019). Cambio Climático. Reporte anual 2019. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/unfccc_annual_report_2019.pdf
- Paul, S., Saxena, K. G., Nagendra, H., & Lele, N. (2021). Tracing land use and land cover change in peri-urban Delhi, India, over 1973–2017 period. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-12.
- Pearce, D. W., & Warford, J. J. (1993). *World without end: economics, environment, and sustainable development*. Oxford University Press.
- Pesaran, M. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of applied econometrics*, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M. (2015). Testing weak cross-sectional dependence in large panels. *Econometric reviews*, 34(6-10), 1089-1117.
- Pigou, A. C. (1920). The Economics of Welfare. <https://academic.oup.com/ej/article-abstract/31/122/206/5282353>
- Quesnay, F. (1758). Tableau économique, primera edición; reproducido en 1894 en facsímil por la British Economic Association.
- Ricardo, D. (1835). *Des principes de l'économie politique et de l'impôt* (Vol. 2). H. Dumont.
- Román, R. (2016). El Cambio Climático un Problema Económico. *REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas*, 4(8), 107-117.
- Romero, P. & De Jesús, J. (2016). Economic growth and energy consumption: The energy-environmental Kuznets curve for Latin America and the Caribbean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1343-1350.
- Sachs, J. (2014). Sustainable development goals for a new era. *Horizons: Journal of International Relations and Sustainable Development*, (1), 106-119.
- Sánchez, J., Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & Sunkel, O. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. Cepal.

- Sánchez, L., & Caballero, K. (2019). The environmental Kuznets curve and its relationship with climate change in Latin America and the Caribbean: a panel cointegration analysis, 1980-2015. *Rosario Economy Magazine*, 22(1), 101-142.
- Schumpeter, J. (1913). Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, 101(1), 84-91.
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). *Economic growth and environmental quality: time-series and cross-country evidence* (Vol. 904). World Bank Publications.
- Silajdzic, S., & Mehic, E. (2018). ¿Do environmental taxes pay off? The impact of energy and transport taxes on CO2 emissions in transition economies. *South East European Journal of Economics and Business*, 13(2), 126-143.
- Simionescu, M. (2021). Revised environmental Kuznets Curve in CEE countries. Evidence from panel threshold models for economic sectors. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-19.
- Simionescu, M. (2021). The nexus between economic development and pollution in the European Union new member states. The role of renewable energy consumption. *Renewable Energy*, 179, 1767-1780.
- Sirag, A., Matemilola, B. T., Law, S. H., & Bany-Ariffin, A. N. (2018). Does environmental Kuznets curve hypothesis exist? Evidence from dynamic panel threshold. *Journal of environmental economics and policy*, 7(2), 145-165.
- Smith, A. (1776). La riqueza de las naciones. *Euskal Herriko Komunistak*. <http://www.ehk.eus/>
- Sohag, K., Al Mamun, M., Uddin, G. S., & Ahmed, A. M. (2017). Sectoral output, energy use, and CO 2 emission in middle-income countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10), 9754-9764.
- Temkin Yedwab, B., Ávila Forcada, S., & Martínez Guerrero, E. (2018). El impacto diferencial de la globalización económica y la democracia sobre las emisiones de CO2 en países ricos y pobres. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(1), 169-183.
- Tenaw, D., & Beyene, A. D. (2021). Environmental sustainability and economic development in sub-Saharan Africa: A modified EKC hypothesis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110897.naw
- Torras, M. & Boyce, J. (1998) Ingreso, desigualdad y contaminación: una reevaluación de la curva ambiental de Kuznets. *Economía ecológica*, 25, 147-160. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00177-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00177-8)

- Torreiro, D. (2004). El papel de la fisiocracia en nuestros días: una reflexión sobre el análisis económico de los recursos naturales y el medio ambiente. *Revista galega de economía*, 13(1-2), 0.
- Ullah, S., Nadeem, M., Ali, K., & Abbas, Q. (2021). Fossil fuel, industrial growth and inward FDI impact on CO2 emissions in Vietnam: testing the EKC hypothesis. *Management of Environmental Quality: An International Journal*.
- United Nations Environment Program. (2021). Adaptation Gap Report 2021-The Gathering Storm: Adapting to climate change in a post-pandemic world.
- Vera, L. (2019). Impuestos ambientales y equidad: desafíos para América Latina y el Caribe. *Friedrich-Ebert-Stiftung (fes)*. Recuperado de: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/15468-20190730.pdf>.
- Verdecia, M. L., & Silva, L. R. (2012). *La explotación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente en las regulaciones jurídicas tributarias cubanas*. Universidad de Holguín.
- Vivas, D., Tapia, M. J., & Sandoval, D. (2021). El Concepto de Desarrollo Sostenible y su Papel en la Solución de los Problemas. *INGENIO*, 4(2), 46-52.
- Wang, K. M. (2012). Modelling the nonlinear relationship between CO2 emissions from oil and economic growth. *Economic Modelling*, 29(5), 1537-1547.
- Wang, K. M. (2012). Modelling the nonlinear relationship between CO2 emissions from oil and economic growth. *Economic Modelling*, 29(5), 1537-1547.
- Wang, Q. (2015). Fixed-effect panel threshold model using Stata. *The Stata Journal*, 15(1), 121-134.
- Wang, Q., Wang, X., & Li, R. (2021). Does urbanization redefine the environmental Kuznets curve? An empirical analysis of 134 Countries. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103382.
- Wang, Y., Li, X., Zhao, X., Xiao, L., Zeng, H., & Sun, H. (2016). Nonlinear absorption and low-threshold multiphoton pumped stimulated emission from all-inorganic perovskite nanocrystals. *Nano letters*, 16(1), 448-453.
- Westerlund, J. (2005). New simple tests for panel cointegration. *Econometric Reviews*, 24(3), 297-316.
- Wolde-Rufael, Y., & Weldemeskel, E. M. (2020). Environmental policy stringency, renewable energy consumption and CO2 emissions: Panel cointegration analysis for BRIICTS countries. *International Journal of Green Energy*, 17(10), 568-582.

- Wooldridge, J. M. (2002). *Introductory Econometrics A Modern Approach*, 2002. *New York: South-Western College Publishing.*
- Wu, H., Xu, L., Ren, S., Hao, Y., & Yan, G. (2020). How do energy consumption and environmental regulation affect carbon emissions in China? New evidence from a dynamic threshold panel model. *Resources Policy*, 67, 101678.
- Yao, F., Zhu, H., & Wang, M. (2021). The Impact of Multiple Dimensions of Urbanization on CO2 Emissions: A Spatial and Threshold Analysis of Panel Data on China's Prefecture-Level Cities. *Sustainable Cities and Society*, 103113.
- Yao, Y., Ivanovski, K., Inekwe, J., & Smyth, R. (2020). Human capital and CO2 emissions in the long run. *Energy economics*, 91, 104907.
- Yin, Y., Xiong, X., & Hussain, J. (2021). The role of physical and human capital in FDI-pollution-growth nexus in countries with different income groups: A simultaneity modeling analysis. *Environmental Impact Assessment Review*, 91, 106664.
- Zaghdoudi, T., & Maktouf, S. (2017). Threshold effect in the relationship between environmental taxes and CO2 emissions: A PSTR specification". *Economics Bulletin*, 37(3), 2086-2094.
- Zhang, L., & Ma, L. (2020). The relationship between industrial structure and carbon intensity at different stages of economic development: an analysis based on a dynamic threshold panel model. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(26), 33321-33338
- Zilio, M. I. (2012). Curva de Kuznets ambiental: La validez de sus fundamentos en países en desarrollo. *Cuadernos de economía*, 35(97), 43-54.
- Zomorodi, A., & Zhou, X. (2016). Role of EKC and PHH in determining environment quality and their relation to economic growth of a country. *Asian Journal of Economics and Empirical Research*, 3(2), 139-144.

11. Anexos

Anexo 1

Regresión Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles

	Global	Ingreso alto	Ingreso medio alto	Ingreso medio bajo y bajo
PIB per cápita	-0.289*** (-81.97)	-0.609*** (-286.02)	-0.381*** (-36.03)	-0.609*** (-286.02)
Industria	0.839*** (544.89)	0.834*** (1029.15)	0.802*** (404.96)	0.834*** (1029.15)
Capital humano	0.0953*** (18.25)	0.405*** (94.42)	-0.864*** (-58.24)	0.405*** (94.42)
Energía renovable	-0.419*** (-245.63)	-0.221*** (-272.00)	-0.963*** (-181.19)	-0.221*** (-272.00)
Impuesto ambiental	-0.0473*** (-18.08)	0.0483*** (43.57)	0.00329* (2.85)	0.0483*** (43.57)
Exportación de recursos naturales	0.000364** (3.27)	0.00519*** (35.43)	0.00767*** (24.67)	0.00519*** (35.43)
Constante	-5.921*** (-247.08)	-4.311*** (-187.07)	0.0424 (0.50)	-4.311*** (-187.07)
Observaciones	1716	910	468	910
Chi2	0.000	0.000	0.000	0.000
Efectos fijos	Sí	Sí	Sí	Sí

Anexo 2

Prueba de cointegración de Westerlund (2005)

Grupo	Varianza	Con promedios de corte transversal		Sin promedios de corte transversal	
		Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor
Global	Algunos paneles	-4.69	0.00	-5.81	0.00
	Todos los paneles	-0.34	0.37	-1.81	0.04
Ingreso alto	Algunos paneles	-2.91	0.00	-1.66	0.00
	Todos los paneles	2.26	0.01	-1.61	0.00
Ingreso medio alto	Algunos paneles	-2.62	0.00	-3.64	0.00
	Todos los paneles	-0.16	0.44	-0.19	0.42
Ingreso medio bajo y bajo	Algunos paneles	-2.70	0.00	-2.53	0.01
	Todos los paneles	-2.89	0.00	-2.25	0.01

Anexo 3

Certificado de traducción del Abstract

La Sra. **Susana del Carmen Ochoa Robles**, identificado con número de cédula 1102524293. Licenciada en Ciencias de la Educación mención Idioma de Inglés.

CERTIFICA:

Que el texto traducido al idioma inglés que compone el **Resumen** del Trabajo de Titulación denominado: **“Contraste medioambiental del crecimiento económico, una evaluación econométrica de la curva ambiental de Kuznets mediante técnicas de umbral”/ “Environmental contrast of economic growth, an econometric evaluation of the environmental Kuznets curve using threshold techniques”** correspondiente al Sr. **Dennys Alexander Castillo Ochoa**, con número de cédula **1105642258**, fue realizado y verificado bajo mi supervisión.

Eso es todo en cuanto puedo indicar en honor a la verdad, facultando a la interesada hacer uso del presente documento para los fines que crea pertinentes.

Loja, 15 de marzo del 2023



Lic. Susana del Carmen Ochoa Robles

C.I. 1102524293

Celular: 0993880059