UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD JURÍDICA, SOCIAL Y ADMINISTRATIVA

CARRERA DE ECONOMÍA

TÍTULO:

"RELACIÓN ENTRE EL GASTO EN I + D Y LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL: NUEVA EVIDENCIA A NIVEL GLOBAL Y GRUPOS DE PAÍSES USANDO TÉCNICAS DE COINTEGRACIÓN Y CAUSALIDAD DE DATOS DE PANEL, PERIODO 1996-2016"

Tesis previa a la obtención del título de Economista.

AUTORA: NATHALY VICTORIA JIMÉNEZ ARROBO

DIRECTOR: ECON. RAFAEL ALVARADO, MG.SC

LOJA – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN

Econ. José Rafael Alvarado López, Mg.Sc, Docente de la Carrera de Economía de la Facultad Jurídica Social y Administrativa de la Universidad Nacional de Loja y Director de Tesis.

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado de manera detenida y minuciosa, durante todo su proceso de desarrollo, la Tesis titulada: "Relación entre el gasto en I + D y la degradación ambiental: nueva evidencia a nivel global y grupos de países usando técnicas de cointegración y causalidad de datos de panel, periodo 1996-2016", de autoría de Nathaly Victoria Jiménez Arrobo, previo a la obtención del Grado de Economista.

La presente Tesis cumple lo establecido en la norma vigente de la Universidad Nacional de Loja, por lo que autorizo su impresión, presentación y sustentación, ante los organismos pertinentes.

Loja, 15 de marzo de 2019

Econ. José Rafael Alvarado López
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Nathaly Victoria Jiménez Arrobo, declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autora: Nathaly Victoria Jiménez Arrobo

Firma:

Cédula: 1150259115

Fecha: Loja, 29 de julio del 2019

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Nathaly Victoria Jiménez Arrobo, declaro ser autora del trabajo de titulación: RELACIÓN ENTRE EL GASTO EN I + D Y LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL: NUEVA EVIDENCIA A NIVEL GLOBAL Y GRUPOS DE PAÍSES USANDO TÉCNICAS DE COINTEGRACIÓN Y CAUSALIDAD DE DATOS DE PANEL, PERIODO 1996-2016, como requisito para obtener el grado de Economista.

Además autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional (RDI).
Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copias de la tesis que realice un tercero.
Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinte y nueve días del mes de julio de dos mil diecinueve, firma la autora.

Firma:

Autora: Nathaly Victoria Jiménez Arrobo

Cédula: 1150259115
Dirección: Loja
Correo Electrónico: nathaly.jimenez@unl.edu.ec
Teléfono: 0968046154

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Econ. José Rafael Alvarado López, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Econ. Patricia Yolanda Guerrero Riofrío, Mg. Sc. Presidente
Econ. Wilfrido Ismael Torres Ontaneda, Mg. Sc Vocal 1
Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa, Mg. Sc Vocal 2

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres por ser mi guía y darme la fuerza que me ha hecho surgir. A mis hermanos y demás familiares, por todo el apoyo brindado.

De igual forma a mis queridos amigos, quienes han sido parte indispensable de mi vida en todos los años de formación educativa.

Con cariño,
Nathaly Victoria Jiménez Arrobo

AGRADECIMIENTO

Mi infinita gratitud en primer lugar a Dios, por darme cada día la fortaleza y el valor necesario para superar cada obstáculo y cumplir con mis metas. A mi familia que es el soporte fundamental de mi vida y que me ha enseñado que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

Agradezco también a la Universidad Nacional de Loja, Carrera de Economía y todos los docentes, que se han hecho cargo de mi formación académica y me han impartido sus conocimientos. De manera muy especial agradezco a mi director de tesis, Eco. Rafael Alvarado por su orientación y apoyo en el desarrollo del presente trabajo investigativo.

Existiendo mi agradecimiento a mis compañeros por su ayuda y recomendaciones a lo largo de estos años de preparación académica. A mis amigos por sus consejos y apoyo incondicional. Y finalmente, a todas aquellas personas que de una u otra forma han sido parte importante de mi vida, por su confianza y por estar conmigo en cada momento y enseñarme a no subestimar mis capacidades.

A todos, mi gratitud.

Nathaly Victoria Jiménez Arrobo

ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN						
BIBLIOTECA: Facultad Jurídica Social y Administrativa						
TIPO DE DOCUMENTO	**AUTOR (A)/ NOMBRE DEL DOCUMENTO**	**FUENTE**	**FECHA:**	**ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN**		
				MUNDIAL	**REGIONAL**	**OTRAS DEGRADA-CIONES**
TESIS	NATHALY VICTORIA JIMÉNEZ ARROBO “RELACIÓN ENTRE EL GASTO EN I + D Y LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL: NUEVA EVIDENCIA A NIVEL GLOBAL Y GRUPOS DE PAÍSES USANDO TÉCNICAS DE COINTEGRACIÓN Y CAUSALIDAD DE DATOS DE PANEL, PERIODO 1996-2016”	UNL	2019	85 paises	- Asia Oriental y el Pacífico - Norteamérica, Europa y Asia Central - América Latina y el Caribe - Medio Oriente y África del Norte - Asia del Sur - África Sub-sahariana	CD

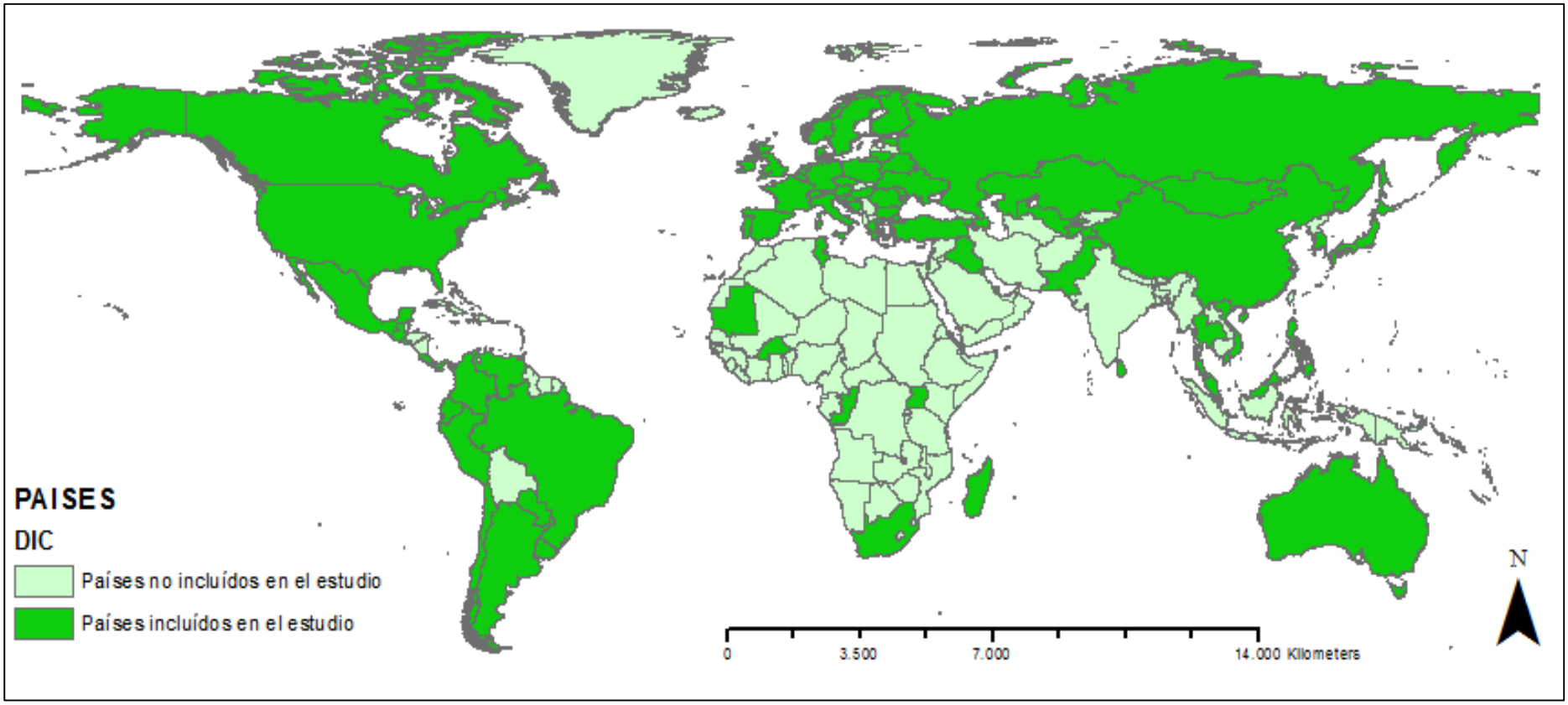

Figura 1. Cobertura geográfica de la investigación

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (1996-2016).

ESQUEMA DE CONTENIDOS

a. TÍTULO.....1

b. RESUMEN.....2

ABSTRACT….....3

c. INTRODUCCIÓN.....4

d. REVISIÓN DE LITERATURA….....8

1. ANTECEDENTES.....8

2. MARCO TEÓRICO Y EVIDENCIA EMPÍRICA.....12

3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....22

e. MATERIALES Y MÉTODOS.....27

f. RESULTADOS.....36

g. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....66

h. CONCLUSIONES.....74

i. RECOMENDACIONES.....76

j. BIBLIOGRAFÍA.....78

k. ANEXOS.....87

a. TÍTULO

RELACIÓN ENTRE EL GASTO EN I + D Y LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL: NUEVA EVIDENCIA A NIVEL GLOBAL Y GRUPOS DE PAÍSES USANDO TÉCNICAS DE COINTEGRACIÓN Y CAUSALIDAD DE DATOS DE PANEL, PERIODO 1996-2016

b. RESUMEN

Para lograr un crecimiento económico sostenido es necesario adoptar y reforzar medidas, y promover procesos que controlen y disminuyan la degradación ambiental. En este contexto, el objetivo de esta investigación es examinar a nivel global y por grupos de regiones, la relación que tiene el gasto en investigación y desarrollo (I + D) con la degradación ambiental, medida por las emisiones de dióxido de carbono (CO2) y la huella ecológica. Para lograr este objetivo, utilizamos datos de 85 países del mundo clasificados en seis regiones para el período 1996-2016. Mediante el uso de técnicas de cointegración y causalidad de datos de panel, los resultados de la prueba de Pedroni (1999) muestran que existe un equilibrio de largo plazo entre el gasto en I+D per cápita con las dos medidas de degradación ambiental utilizadas, tanto a nivel global como en todas las regiones. Sin embargo, la fuerza del vector de cointegración no es contundente en ninguna región y en la mayoría de los países. Asimismo, mediante la prueba de Westerlund (2007) encontramos que existe un equilibrio de corto plazo entre las variables a nivel global y en todas las regiones. Finalmente, los resultados de la prueba de causalidad, muestran que existe causalidad bidireccional entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2, y entre el gasto en I+D y la huella ecológica a nivel global. En la región de Medio Oriente y África del Norte, encontramos una relación causal unidireccional que va desde la huella ecológica al gasto en I+D. Así también, existe una causalidad unidireccional desde el gasto en I+D hacia la huella ecológica en la región de Norteamérica, Europa y Asia Central. Mientras que no encontramos evidencia sobre causalidad en ninguna dirección en las demás regiones analizadas. Una posible implicación de política económica derivada de nuestra investigación es que las políticas públicas deberían promover un mayor gasto en investigación y desarrollo en todos los sectores para combatir la degradación ambiental y promover un crecimiento y desarrollo sostenible.

Palabras clave: Emisiones de CO2. Huella ecológica. Investigación y Desarrollo. Sostenibilidad. Datos de panel. Cointegración. Causalidad.
Clasificación JEL: Q53. O39. Q56. C33.

ABSTRACT

To achieve sustained economic growth, it is necessary to adopt and reinforce measures, and to promote processes that control and reduce environmental degradation. In this context, the objective of this research is to examine globally and by groups of regions, the relationship between spending on research and development (R & D) and environmental degradation, measured by carbon dioxide emissions (CO2) and the ecological footprint. To achieve this goal, we use data from 85 countries in the world classified in six regions for the period 1996-2016. Through the use of cointegration techniques and causality of panel data, the results of the Pedroni test (1999) show that there is a long-term equilibrium between R & D expenditure per capita with the two environmental degradation measures used, both at the level globally as in all regions. However, the strength of the cointegration vector is not strong in any region and in most countries. Also, through the Westerlund test (2007) we find that there is a short-term equilibrium between the variables at global level and in all regions. Finally, the results of the causality test show that there is bidirectional causality between R & D spending and CO2 emissions, and between R & D spending and the global ecological footprint. In the Middle East and North Africa region, we find a causal one-way relationship that ranges from ecological footprint to R & D spending. Also, there is unidirectional causality from R & D spending to the ecological footprint in the North America, Europe and Central Asia region. While we did not find evidence on causality in any direction in the other regions analyzed. A possible implication of economic policy derived from our research is that public policies should promote increased spending on research and development in all sectors to combat environmental degradation and promote growth and sustainable development.

Keywords: CO2 emissions. Ecological footprint. Investigation and development. Sustainability. Panel data. Cointegration. Causality.

JEL Classification: Q53. O39 Q56. C33.

c. INTRODUCCIÓN

La búsqueda constante del crecimiento económico ha traído múltiples efectos negativos sobre el medio ambiente que constituyen una gran amenaza para la sostenibilidad de las generaciones actuales y futuras. Con esto, disminuir la contaminación y frenar la degradación ambiental se torna un objetivo a nivel global, dado que, los efectos de estos no se reflejan únicamente en el lugar en el cual se producen, ni tienen solo implicaciones ambientales y económicas, sino también sociales, especialmente en el área de la salud humana (Organización Mundial de Salud, 2018). Por tanto, se debe adoptar medidas y procurar que el crecimiento económico de cada región y país sea promovido con procesos y técnicas ambientalmente amigables que eviten la contaminación y garanticen la sostenibilidad. En este contexto, los esfuerzos para medir, monitorear y reducir las cargas ambientales y garantizar con ello la sostenibilidad, se ha constituido sobre todo en los últimos años, en el desafío de investigadores, organizaciones y formuladores de políticas (Čuček, Klemeš & Kravanja, 2012; Viglia, Civitillo, Cacciapuoti & Ulgiati, 2018; Schmidt-Traub, Kroll, Teksoz, Durand-Delacre & Sachs, 2017). En este marco, las emisiones de CO2, son las principales responsables del calentamiento global **y** uno de los indicadores más utilizados de la degradación ambiental.

Según datos publicados por el Banco Mundial (2018), en el transcurso de las últimas décadas, las emisiones de CO2 per cápita expresadas en toneladas métricas (MT) aumentaron a nivel mundial a lo largo del período 1960-2014. Para el año 1960, las emisiones de CO2 promedio en todo el mundo fueron de 4.2 y en el año 2014 de 5.0. Estas mismas cifras, indican que los países desarrollados e industrializados, seguidos de los países de ingresos medios altos, son los que más emisiones emitieron con una media de 11,00 y 6,6 toneladas métricas (TM) de dióxido de carbono (CO2) per cápita (Banco Mundial, 2018). De igual manera, las cifras de un informe del Foro Nuclear (2015) señalan que las emisiones totales en el mundo en el año 2014 tuvieron un aumento del 0,8% respecto al año 2013 y un incremento acumulado del 57,9% respecto al año de 1990. Siendo China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón los países que más emiten, “representando conjuntamente casi el 60% de las emisiones totales” (Foro Nuclear, 2015).

Por otra parte, la huella ecológica considerada otra medida de la degradación ambiental, también ha experimentado grandes alteraciones con el pasar de los años. Según el instituto

Red Global de la Huella (2018), a nivel mundial, desde la década de 1970 la sociedad está operando en un estado de rebasamiento con una huella global que supera la biocapacidad mundial en más del 50% en 2018. Lo cual significa que al planeta, le toma un año y seis meses regenerar lo que usamos en un año. Este rebasamiento agota el capital natural del que depende la sociedad humana, reduciendo las existencias en grandes proporciones. Así también, las recientes proyecciones señalan que de seguir los ritmos actuales, para el año 2020 la demanda humana en los ecosistemas de la Tierra supere lo que la naturaleza puede regenerar en aproximadamente un 75% (Red Global de la Huella, 2018). Con esto, la huella ecológica es mayor que el planeta en el que vivimos y entramos en un déficit ecológico.

Con estos antecedentes, la creciente importancia de controlar y disminuir el deterioro del medio ambiente y garantizar la sostenibilidad económica y un equilibrio ambiental y social, es crucial para todas las economías del mundo. La literatura empírica sostiene que en etapas de crecimiento económico intenso se produce el mayor nivel de deterioro ambiental debido a la utilización de métodos intensivos en la agricultura, a la mayor tasa de extracción de recursos naturales y a un creciente proceso de industrialización (Iwata, Okada & Samreth, 2010). Las diferentes actividades económicas degradan el medio ambiente, ocasionando un efecto negativo en los estándares de vida (Farhidi, 2017). Esto atrae la atención de las organizaciones y autoridades, particularmente en países con altos niveles de contaminación (Lu et al., 2017).

En este sentido, uno de los mecanismos más importantes para impulsar el desarrollo económico y lograr un cambio estructural es la innovación (Schumpeter, 1934). En perspectiva, el gasto en I + D se puede tomar como motor de un crecimiento económico menos contaminante. En los últimos años, existe un amplio consenso al considerar al cambio tecnológico como el camino para lograr un desarrollo sostenible (Krekel, Samsun, Peters & Stolten, 2018), lo cual ha provocado un gran interés en la innovación y su promoción, involucrando a la mayoría de los agentes económicos (Fernández, López & Blanco, 2018). Sin embargo, por otro lado, se argumenta que los problemas ambientales y sus soluciones no están basados únicamente en la tecnología, puesto que las medidas de mejora requieren cambios en las políticas, la organización y las actitudes de las personas (Venselaar, 1995).

Así, durante las últimas décadas, ha habido continuos debates sobre el impacto que tiene la degradación en la sostenibilidad económica y social. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones empíricas que utilizan modelos formales para mostrar los factores más significativos y sus relaciones con la degradación ambiental, se orientan principalmente a verificar la relación de esta con el crecimiento económico (Hajilary, Shahi & Rezakazemi, 2018; Wang, Li, & Fang, 2018; Azevedo, Sartori, & Campos,2018;entre otros). Con estos antecedentes, este documento intenta examinar la relación de corto y largo plazo que existe entre el gasto en I+D y la degradación ambiental, medida por las emisiones de CO2 y la huella ecológica a nivel mundial y por regiones[1] durante el periodo 1996-2016. Por la disponibilidad de datos, esta investigación abarca 85 países clasificados en seis regiones[2]: Asia Oriental y el Pacífico; Norteamérica, Europa y Asia Central; América Latina y el Caribe; Medio Oriente y África del Norte; Asia del Sur y África Sub-sahariana. Esto permite capturar las diferencias geográficas, culturales, económicas y establecer las implicaciones de política de cada grupo de regiones sobre la base de los resultados obtenidos.

Para cumplir con los siguientes objetivos específicos: 1) Analizar la evolución y la correlación entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica durante el periodo 1996-2016. 2) Estimar el equilibrio de corto y largo plazo entre las variables del modelo, para 85 países del mundo clasificados por regiones. Y 3) Estimar la causalidad entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica, para 85 países del mundo clasificados por regiones. Primero, estimamos un modelo GLS de línea de base para estimar la dirección de la relación entre las variables de manera más consistente y eficiente. Segundo, después de verificar que las variables no tienen el problema de la raíz unitaria, mediante los test de Dickey & Fuller (1981), Phillips & Perron (1988), Levine, Lin & Chu (2002), Im, Pesaran & Shin (2003) & Breitung (2000); estimamos la relación de corto y largo plazo usando técnicas de cointegración heterogénea de Pedroni (1999, 2001) y modelos de corrección de error de Westerlund (2007). Finalmente, aplicamos el test de causalidad tipo Granger desarrollada

[1]Las regiones, se pueden definir como zonas territoriales determinadas por características semejantes o comunes, como puede ser la geografía, la forma de gobierno, la dinámica económica, la cultura, el clima, etc.

[2] La investigación utiliza la clasificación de las regiones que hace el Banco Mundial (2018), unificando la región de Norteamérica con la de Europa y Asia Central, cuyos países comparten características similares.

por Dumitrescu & Hurlin (2012) con el fin de evaluar la dirección de la causalidad entre las variables.

Nuestros principales resultados señalan que la primera diferencia de las tres variables, hizo que los datos sean estacionarios, por tanto, el grado de cointegración para todas las series es I (1). La prueba de cointegración de Pedroni (1999) señala que el gasto en I+D y las dos medidas de degradación ambiental utilizadas se mueven en forma conjunta y simultánea en el tiempo a nivel global y en todas las regiones. El modelo de corrección de error de Westerlund (2007), en cambio muestra que existe una relación de corto plazo entre las variables de los dos modelos. Finalmente, encontramos la existencia de causalidad bidireccional entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D, y entre la huella ecológica y el gasto en I+D a nivel global. Así como también, una relación causal unidireccional que va desde el gasto en I+D hacia la huella ecológica en la región de Norteamérica, Europa y Asia Central.

Dado los diversos estudios que analizan la degradación ambiental y sus diferentes enfoques, no existen extensas investigaciones que analicen y relacionen directamente el efecto que tiene el gasto en I+D agregado en las emisiones de CO2 y más aún en la huella ecológica, por tanto, nuestro estudio, tiene varios aportes significativos. Primero, nuestros resultados contribuyen al debate de la literatura que relaciona a la innovación con la búsqueda de la sostenibilidad económica. Segundo, respaldan la hipótesis de que el gasto en investigación y desarrollo contribuye positivamente a la reducción de la degradación ambiental a nivel global. Este análisis tiene dos características distintivas. En primer lugar, (a) adopta un enfoque de robustez al usar métodos modernos de datos de panel que permiten determinar si existe o no una fuerte relación de largo plazo entre las variables y proponer políticas específicas en función de cada región; y (b) analizar diferentes países de acuerdo a su región geográfica. Tercero, tomar dos medidas diferentes de degradación ambiental y analizarlas con el gasto en I+D que se realiza en todos los sectores económicos, lo cual es consistente con el hecho de que a la naturaleza le afectan todas las presiones en conjunto.

Formalmente, el presente estudio después de la *introducción*, considera los siguientes componentes: d) *Revisión de la literatura* que comprende tres apartados: antecedentes, fundamentación teórica y fundamentación legal; e) *Materiales y métodos* que comprende cinco apartados: materiales, tipo de investigación, métodos de investigación, técnicas e

instrumentos de investigación y tratamientos de los datos; f) *Resultados* en base a cada uno de los objetivos planteados*;* g) *Discusión* de los resultados obtenidos con la evidencia empírica; h) *Conclusiones*; i) *Recomendaciones*, con la cuales se busca dar solución a la problemática planteada; j) *Bibliografía* y k) *Anexos* que contiene información adicional que apoyan el desarrollo de la investigación.

d. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El problema de la degradación ambiental es abordado desde diferentes enfoques. Sin embargo, no existe suficiente teoría y evidencia empírica que analice y relacione directamente la relación entre el gasto en I + D y la degradación ambiental al ser medida por las emisiones de dióxido de carbono (CO2) y la huella ecológica. Existiendo un vacío en la literatura, con un campo amplio para investigar sobre el tema en mención.

Por lo antes mencionado, los antecedentes dan un énfasis en la importancia que tiene el estudio de la problemática. Y la evidencia empírica, primero relaciona varios estudios que consideran las variables de interés. Segundo, se divide en dos etapas: la primera, que compila estudios que mencionan la importancia del gasto en I+D para reducir las cargas ambientales y la segunda etapa, que incluye a estudios que señalan que el gasto en I+D no es suficiente por si solo para combatir los problemas ambientales.

1. ANTECEDENTES

Aunque los tradicionales modelos de crecimiento económico (Solow, 1956 y Swan, 1956; Kaldor, 1966; entre otros) y las investigaciones empíricas (Henderson, 2005; Teixeira & Queirós, 2016; Saccone, 2017; entre otros) ampliamente estudiadas, no consideran la importancia de equilibrar las estrategias de crecimiento económico con las prioridades sociales y ambientales. La búsqueda de un crecimiento y desarrollo económico sostenido, en el transcurso de las últimas décadas ha ido tomando fuerza y gran interés en la literatura teórica y empírica, convirtiéndose así, en el objetivo de varios países a nivel mundial sobre todo en los últimos años. No obstante, este objetivo se ve seriamente amenazado por los problemas ambientales que se van intensificando cada día más, con lo cual se torna crucial abordar la degradación ambiental como la principal amenaza y problema a tratar para promover el desarrollo sostenible y lograr la sostenibilidad económica y social.

Bajo este contexto, los temas y problemas ambientales son fenómenos universales abordados desde varios enfoques, principalmente ecológicos y económicos. La conciencia ecológica, empezó a desarrollarse durante los años 60 en algunos países industrializados, tras los crecientes niveles de contaminación ambiental producto del mayor desarrollo industrial y crecimiento demográfico, cuyos hechos, además dieron lugar a nuevas

ideologías ambientales que se asientan esencialmente sobre posturas conservadoras desde los años setenta (Gallopín, 2003). No obstante, los problemas ambientales en el ámbito de interés de la economía, empezaron a utilizarse tomando como referencia la teoría de las externalidades (Marshall, 1890; Samuelson, 1954-1955; Bator, 1958; Head, 1962), lo cual, permitió años más tarde introducir la contaminación en modelos formales como un efecto externo negativo. Así poco a poco, la preocupación por los temas medioambientales se profundizó y generalizó en los años setenta, a través de trabajos pioneros, como el de Ehlrich y Holdren (1971), quienes introdujeron por primera vez la relación entre la actividad económica y el deterioro ambiental en el año de 1971, utilizada por múltiples autores a partir de entonces (citado en Labandeira, León & Vázquez, 2007, p.22).

A principios de la década de los noventa, gracias a los avances tecnológicos y su aplicación al proceso de obtención de datos y a los avances científicos que permitieron vincular el consumo y la producción de bienes con el deterioro ambiental, comenzaron a aparecer trabajos que relacionaban el medio ambiente y el desarrollo económico (Norton, 1992), surgiendo con ello los conceptos de sostenibilidad, cuyos elementos de análisis han determinado innumerables reflexiones que indudablemente redimensionan el concepto de desarrollo sostenible. En esta línea, Riechmann (1995) afirma que los responsables de la degradación de los ecosistemas son las generaciones actuales que en su afán de satisfacer sus necesidades comprometen gravemente la capacidad de los recursos naturales, a lo cual se suma la presión de la producción. En esta década, también comenzaron a aparecer trabajos que relacionaban indicadores de calidad ambiental con niveles de crecimiento económico. En este marco, la curva ambiental de Kuznets (EKC) que establece una relación entre la calidad ambiental y el ingreso per cápita en forma de una U-invertida (Grossman & Krueger, 1995), se ha convertido en el foco de debate de múltiples autores que en los últimos años han buscado probar su validez para las diversas economías alrededor del mundo.

Con estos antecedentes, existen varias causas de la degradación ambiental ampliamente estudiadas por la literatura empírica (Hajilary, Shahi & Rezakazemi, 2018, entre otros). Por ejemplo, Ehlrich y Holdren (1971) en el año de 1971, proponen el modelo IPAT que parte del supuesto de que los determinantes más inmediatos del impacto ambiental son el tamaño poblacional, el ingreso per cápita y la eficiencia tecnológica (citado en Labandeira, León & Vázquez, 2007, p.22). El impacto ambiental per cápita depende, a su vez,

directamente del nivel de consumo de los hogares y de la tecnología de producción de estos bienes de consumo (Ivanova et al., 2016). Asimismo, el acelerado crecimiento urbano presiona los recursos existentes, ocasionando que las fuentes de agua se agoten y se contaminen por la descontrolada y mala disposición final de los desechos sólidos que genera la población y que se concentran en espacios relativamente pequeños. A esto se suma, las infraestructuras necesarias para satisfacer las demandas urbanas que junto a la falta de adecuados procesos organizados y sistemáticos generan un gran impacto ambiental (Labandeira, León & Vázquez, 2007).

Así, los esfuerzos para desarrollar conceptos que permitan medir, monitorear y reducir las cargas ambientales y garantizar con ello la sostenibilidad, se ha constituido en el reto de investigadores, organizaciones y formuladores de políticas (Čuček, Klemeš & Kravanja, 2012; Viglia, Civitillo, Cacciapuoti & Ulgiati, 2018; Schmidt-Traub, Kroll, Teksoz, Durand-Delacre & Sachs, 2017). En este marco, las emisiones de CO2 son uno de los indicadores más utilizados de la degradación ambiental. La cantidad de CO2 que un país emite está asociado con el nivel de desarrollo que experimentan. Por tanto, al igual que el progreso económico, los problemas ambientales difieren significativamente de país a país de acuerdo con su nivel de desarrollo. Por ejemplo, China señalado como el mayor contaminador del mundo, es responsable del 29.2% del total de las emisiones de dióxido de carbono; mientras que otros países como India, Indonesia y Brasil son responsables del 7.1%, 1.5% y 1.3% respectivamente (Janssens-Maenhout et al., 2017).

De acuerdo con datos del WDI (2018) publicados por el Banco Mundial, las emisiones de CO2 per cápita expresadas en toneladas métricas (MT) aumentaron a nivel mundial a lo largo de los años 1960-2014. Para el año 1960 las emisiones de CO2 promedio en todo el mundo fueron de 4.2 y en el año 2014 de 5.0. Esta tendencia se mantiene para América Latina y el Caribe, junto a las regiones de Oriente Medio y Norte de África, cuyas emisiones de CO2 pasaron de 2.3 y 3.6 TM per cápita en el año 1960 a 3.1 y 6.2 TM per cápita en el año 2014. Mientras que en las regiones de Europa y Asia Central, África Subsahariana y América del Norte, las emisiones de CO2 disminuyeron levemente pasando de 9.0, 09 y 19.0 TM en el año 1960 a 6.9, 0.8 y 16.4 TM en el año 2014; en las regiones del Este de Asia y el Pacifico y Asia del Sur, en cambio las emisiones de CO2 promedio aumentaron más del 50%, pasando del 2.6 y 0.6 en el año 1960 a 6.3 y 1.5 TM

en el año 2014 respectivamente. Estas tendencias y sus efectos son de preocupación global, y requieren soluciones urgentes.

Otro indicador de la degradación ambiental, es la huella ecológica que trata de establecer una relación entre las actividades humanas y los límites que establece la capacidad de carga de la biosfera. A nivel mundial, desde la década de 1970, la sociedad está operando en un estado de rebasamiento, con una huella global que supera la biocapacidad mundial en más del 50% en 2018. Lo cual significa que al planeta, le toma un año y seis meses regenerar lo que usamos en un año. Este rebasamiento agota el capital natural del que depende la sociedad humana, reduciendo las existencias en grandes proporciones. Así también, las recientes proyecciones señalan que de seguir los ritmos actuales, para el año 2020 la demanda humana en los ecosistemas de la Tierra supere lo que la naturaleza puede regenerar en aproximadamente un 75% (Red Global de la Huella, 2018).

Al igual que las emisiones de CO2, los niveles de la huella ecológica y la biocapacidad varían ampliamente con el tiempo y entre las regiones y los países (Wackernagel, Lin, Hanscom, Galli & Iha, 2019), teniendo el potencial de conducir al sistema de la Tierra a un nuevo estado en caso de que se transgredan de manera sustancial y persistente (Steffen et al., 2015). Esto aumenta la necesidad de establecer límites ecológicos, promover el crecimiento de ciudades sostenibles, el uso de energía respetuosa con el medio ambiente y la innovación tecnológica (Liu & Bae, 2018).

Controlar y disminuir las cargas ambientales y garantizar la sostenibilidad económica y un equilibrio ambiental y social, es crucial para todas las economías del mundo. Por lo tanto, se deben abordar soluciones y adoptar estrategias que, por un lado incluyan mejorar la actividad humana creando hábitos saludables que lleguen a traspasarse de generación en generación. Y, por otro, promover un cambio tecnológico que permita realizar actividades económicas sostenibles con menor impacto ambiental. En este contexto, uno de los mecanismos más importantes para lograr este cambio estructural e impulsar el desarrollo económico es la innovación (Schumpeter, 1934). Puesto que un proceso innovador puede tener mayores y mejores consecuencias, consumir menos energía y ser un menor contaminador para conseguir un crecimiento sostenible (Azqueta, Ramírez & Villalobos, 2007). Por tanto, desde una amplia perspectiva el gasto en I+D puede contribuir a

disminuir las cargas ambientales, dado que puede generar nuevos procesos y nuevos productos ambientalmente amigables.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.CAMBIO CLIMÁTICO

Se llama cambio climático, a la alteración de las condiciones predominantes en la atmósfera, entre los factores que tienen gran importancia en el cambio climático se encuentran los procesos externos tales como: la variación de la radiación solar, los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica son factores que tienen gran importancia en el cambio climático. El clima de la Tierra depende del equilibrio radiativo de la atmósfera, el cual depende a su vez de la cantidad de la radiación solar que ingresa al sistema y de la concentración atmosférica de algunos gases variables que ejercen un efecto invernadero natural (Ballesteros & Aristizábal, 2007).

2.1.1. Efecto invernadero

Según Centella, Llanes, Paz, López, & Limia (1994) el efecto invernadero es un proceso natural que ocasiona el calentamiento de la superficie terrestre, este efecto se origina por la presencia en la atmósfera de gases que tienen la capacidad de absorber y reemitir la radiación terrestre; estos gases actúan de forma similar a los cristales de una casa de invernadero y de ahí proviene la denominación.

Entre los gases de efecto invernadero más importantes se encuentran: el Dióxido de Carbono (CO2); Metano (CH4); Óxido Nitroso (N2O), Monóxido de Carbono (CO); Óxidos de Nitrógeno (NOx). También se consideran otros gases de importancia radiativa y fotoquímica como los compuestos orgánicos volátiles distintos al Metano (COVDM) y el Dióxido de Azufre (SO2). En ausencia de esos gases la temperatura media global de la tierra sería 33°C más baja que la actual (alrededor de -18°C), haciendo imposible la existencia de las actuales formas de vida en el planeta (Garduño, 2004).

2.1.1.1. Dióxido de Carbono (CO2)

El dióxido de carbono es un gas denso que forma parte de la capa de la atmósfera más cercana a la tierra y tiene un gran impacto en el efecto invernadero. Su acelerada

concentración, ha aumentado significativamente durante las últimas décadas causando múltiples efectos a nivel de todo el mundo (EPA[3], 2018).

El dióxido de carbono es uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI), cuyo aumento cambia el clima de la Tierra, imponiendo desafíos únicos para todo tipo de vida (National Geographic, 2010). Más del 75% de las emisiones de CO2 provocadas por el ser humano provienen de los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) y "aproximadamente el 50% del CO2 emitido a la atmósfera tardará 30 años en desaparecer, un 30% permanecerá varios siglos y el 20% restante durará varios miles de años" (González, 2012).

Las mayores emisiones de CO2 provienen del transporte, las grandes industrias y fábricas. Sin embargo, una variedad de artículos del hogar, como queroseno sin ventilación, calentadores de gas, chimeneas, hornos con fugas y estufas de gas también liberan CO2 y afectan la calidad del aire. Por otro lado, en la naturaleza las mayores emisiones de CO2 se dan cuando hay incendios forestales y erupciones volcánicas. Todo esto acarrea consecuencias que se desencadenan en la contaminación de los océanos, lo que lleva a la acidificación del mar, y la contaminación atmosférica, lo que deriva en el efecto invernadero.

2.2.HUELLA ECOLÓGICA

La huella ecológica es un indicador de impacto ambiental que comprende el área de territorio productivo o ecosistema necesario para producir los recursos utilizados y asimilar los residuos producidos por una población. Por ende, se constituye en un concepto que analiza el impacto que los individuos y grupos sociales provocan en el entorno natural (Achkar, 2005) y pretende estimar como se ha apuntado la cantidad de recursos naturales y ambientales necesarios, dada la tecnología disponible, para sostener el nivel de consumo de una persona, región, país, o cualquier otro grupo social, así como para asimilar los desechos que produce (Azqueta, Ramírez & Villalobos, 2007).

La huella ecológica se puede utilizar para medir el consumo actual de cualquier población y los requisitos proyectados en relación con el suministro ecológico disponible y señalar las posibles deficiencias. De esta manera, puede ayudar a la sociedad a evaluar las

[3] Agencia de Protección del Medio Ambiente, EPA por sus siglas en ingles.

elecciones que necesitamos para abordar nuestras demandas sobre la naturaleza (Wackernagel & Rees, 1998). Así, la huella ecológica es un indicador del impacto ambiental generado por la demanda de los recursos existentes en los ecosistemas del planeta, relacionándola con la capacidad ecológica de la tierra de regenerar sus recursos. Esta capacidad regenerativa es el factor material más limitante para las economías humanas. Muchas actividades humanas imponen demandas a la capacidad regenerativa del planeta, incluida la provisión y el procesamiento de alimentos, la construcción y el mantenimiento de viviendas, el transporte y el consumo de bienes y servicios (Bello, Solarin & Yen, 2018).

Aunque la huella ecológica aspira a ser sobre todo un indicador cuantitativo y preciso, sus principales frutos los ha dado como marco conceptual que permite comparar sociedades completamente dispares y evaluar su impacto sobre el medio ambiente. Los niveles de la huella ecológica y la biocapacidad varían ampliamente con el tiempo y entre las regiones y las naciones. En algunas zonas del mundo, las consecuencias de los déficits ecológicos pueden ser devastadoras, lo que lleva a la pérdida de recursos, al colapso del ecosistema, a la deuda, a la pobreza, al hambre y a la guerra. Con esto, la huella ecológica ayuda a los países a comprender su presupuesto ecológico y les brinda los datos necesarios para administrar sus recursos y construir un futuro seguro y sostenible.

Así también, la variable de la huella ecológica al considerar, el espacio de tierra, agua y aire biológicamente productivo del planeta o de una región necesarios para generar una determinada cantidad de recursos y asimilar los residuos (Galli et al, 2016), es considerada como un indicador fuerte de la sostenibilidad desde que Rees & Wackernagel (1994) la propusieron.

2.2.1. Cálculo de la huella ecológica

La metodología de cálculo de la huella ecológica se basa en la estimación de la superficie necesaria para satisfacer el consumo relacionado con la alimentación, productos forestales, gasto energético y la ocupación directa del terreno. Los cálculos actuales evalúan el consumo por nación de 60 categorías de recursos (incluyendo los productos primarios, como leche o madera y los productos manufacturados derivados de estos). Los resultados se obtienen sumando las importaciones y restando las exportaciones a la producción nacional (Castillo, ,2007).

Quesada (2009) señala que el cálculo de la huella ecológica consiste en elaborar una matriz donde se representa el territorio necesario por habitante para satisfacer sus consumos agrupados en lo referente a la alimentación (agricultura, ganadería y pesca), el sector forestal, el gasto energético (la energía que se gasta en la producción de los bienes de consumo y el resto) y el territorio productivo.

El territorio a su vez se califica en seis tipos:

- Territorio para la absorción de CO2: es el territorio que se debería reservar para albergar expresamente CO2 que está continuamente liberándose a la atmósfera.
- Territorio agrícola: es la tierra más productiva pues concentra la mayor producción neta de biomasa utilizable por el hombre.
- Superficie de pastos: es significativamente menos productiva que la agrícola.
- Superficie forestal: se refiere a la superficie ocupada por bosques ya sean naturales o repoblados.
- Áreas utilizadas directamente: incluye las áreas ocupadas por superficies degradadas, embalses y áreas construidas.
- Mar productivo: incluye las zonas marinas de las que es posible detectar una producción biológica razonable que pueda ser aprovechada por el hombre.
- Territorio reservado para la biodiversidad: es el territorio productivo que es necesario para la conservación de la biodiversidad (Quesada, 2009. p.6)

2.2.2. Importancia de la huella ecológica

Para Castillo (2007) la huella ecológica analiza la sustentabilidad en términos sencillos y comprensibles y utiliza los datos científicos disponibles más confiables; permitiendo a las personas en general, analistas políticos y a los gobiernos medir y manifestar el impacto en los sectores económico, ambiental y de seguridad, originado por el uso de los recursos naturales.

Por otro lado, Badii (2008) menciona que la Metodología de la Huella Ecológica (MHE) provee ventajas muy relevantes y significativas para los tomadores de las decisiones políticas ya que estas personas van a considerar estos puntos e iniciativas en pro de la sustentabilidad, aplicando políticas que se puedan desarrollar en ámbitos como el energético, el forestal o el de la conservación de la biodiversidad.

2.2.3. Principales ventajas de la huella ecológica

De acuerdo con Castillo (2007) las principales ventajas de la huella ecológica son las siguientes:

- Agregación y simplificación: agrupa en un solo número la intensidad del impacto que una determinada comunidad humana ejerce sobre los ecosistemas.
- Visualización de la dependencia ecológica: el progresivo proceso de concentración de la población en sistemas urbanos y globalización de los flujos de materiales y energía dificulta, de forma creciente, la vinculación por parte de la población del consumo de bienes y energía con el impacto que tienen sobre el medio.
- Visualización de la inequidad social: la posibilidad de realizar el cálculo para diferentes comunidades humanas o sectores de una misma sociedad con estilos de vida diferenciados permite la visualización de inequidad en la apropiación de los ecosistemas del planeta.
- Monitorización del consumo de recursos: pese a sus limitaciones, la huella ecológica permite hacer un seguimiento del impacto de una comunidad humana asociado al consumo de recursos mediante la actualización del indicador a lo largo de los años (p.16).

2.3. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Los gastos en investigación y desarrollo son gastos corrientes y de capital en trabajo creativo realizado sistemáticamente para incrementar los conocimientos y el uso de los conocimientos para nuevas aplicaciones. El área de investigación y desarrollo abarca la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental (Index Mundi, 2018).

El gasto en I + D es la variable más utilizada en la literatura económica como medida de la innovación debido al enfoque macroeconómico de los estudios. En este sentido, la innovación es un proceso en el cual interactúan diferentes agentes como las empresas, los institutos de investigación, las universidades, etc.

> "Este proceso no es determinístico, ni lineal, y las políticas públicas y las instituciones de apoyo a la tecnología e innovación desempeñan un papel fundamental" (Bárcena, 2008).

Así, la innovación es el resultado de un proceso complejo que lleva nuevas ideas al mercado en forma de productos o servicios y de sus procesos de producción o provisión, que son nuevos o significativamente mejorados (Meliá, 2005).

Según la UNESCO[4] (2018):

> "la investigación y los avances en el campo de las tecnologías verdes contribuyen al progreso económico y social al tiempo que respetan el medio ambiente y construyen sociedades más ecológicas e inclusivas"

Sin embargo, desde otra perspectiva, se argumenta que la innovación es un bien público con características particulares que hacen que sus efectos, puedan tener un efecto revote en el sector en el cual se lleva a cabo, o a su vez, tener un efecto secundario en otro sector distinto en el cual se realizó (Fernández, López & Blanco, 2018).

2.3.1. Indicadores de I+D

Según Pujol & Vivó (2008) los principales grupos de indicadores que se utilizan habitualmente para estudiar la I+D son los siguientes:

- *Recursos*: económicos, humanos (Investigadores técnicos y personal asimilado, personal de soporte) y materiales (Infraestructuras y equipamientos científico, bibliotecas y servicios de documentación)
- *Resultados:* publicaciones científicas y tecnológicas (artículos científicos, patentes.
- *Magnitudes económicas:* balanza de pagos, productos e industrias de alta tecnología, Innovación y estadísticas sobre el sector y utilización de las TIC (p.5)

[4] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, por sus siglas en ingles.

2.2.2. Gasto Nacional Bruto en I+D

Escamilla (2010) define el gasto nacional bruto en I+D como un agregado que comprende los gastos totales en I+D financiados por las instituciones de un país, durante un período determinado, incluye las actividades de I+D ejecutadas en el extranjero, financiadas por instituciones nacionales o por residentes. Se obtiene sumando los gastos nacionales internos de cada sector de ejecución y la I+D realizada en el exterior, pero financiada con fondos nacionales.

2.2.3. Gasto Interno Bruto en I+D

Es el total de gastos internos destinados a la realización de acciones de I+D efectuadas en territorio nacional, durante un período determinado. Se obtiene sumando los gastos internos de los cuatro sectores que efectúan actividades de I+D (sector empresas, sector enseñanza superior, sector administración pública, sector instituciones privadas sin fines de lucro) (Escamilla, 2010).

3. EVIDENCIA EMPÍRICA

En esta parte, es preciso recalcar que no encontramos estudios sobre cointegración y corrección de error de las variables del modelo, sin embargo, hacemos una comparación con otros estudios en donde los resultados se analizan considerando las variables de interés.

La evidencia empírica sostiene que en etapas de crecimiento económico intenso se produce el mayor nivel de deterioro ambiental debido a la utilización de métodos intensivos en la agricultura, a la mayor tasa de extracción de recursos naturales y a un creciente proceso de industrialización que conlleva una elevación del nivel y toxicidad de las emisiones. Asimismo, las emisiones de CO2 están relacionadas directamente con el uso y tipo de fuente de energía, la fabricación, y la tasa de urbanización (Iwata, Okada & Samreth, 2010; Kang, Zhao & Yang, 2016).

Existe una mayor conciencia ambiental en los países desarrollados, debido a que, a medida que los países alcanzan mayores niveles de desarrollo, crean condiciones para que los procesos de producción y legislación ambiental sean regulados (Banerjee & Gupta, 2017). Sin embargo, estas condiciones también conducen a los fabricantes a trasladar sus

operaciones a países en desarrollo o emergentes, en los cuales las regulaciones para proteger el medio ambiente tienden a ser más flácidos, debido a que las empresas manufactureras tienen pocos incentivos para utilizar las tecnologías y procesos que reducen la contaminación ambiental (Cherniwchan, 2012). Con esto, los efectos negativos del calentamiento global son cada vez más visibles (Cohen, Jalles, Loungani & Marto, 2018; Hajilary, Shahi & Rezakazemi, 2018), y los problemas de la degradación ambiental se han convertido en un problema en la salud y calidad de vida, lo que atrae la atención de las organizaciones y autoridades, particularmente en países con altos niveles de contaminación (Lu et al., 2017).

Además, el crecimiento masivo de emisiones de CO2 implica que el calentamiento global y el cambio climático se vuelvan una seria amenaza para el consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y, por lo tanto, exijan una respuesta global urgente (Stern, 2007). En este contexto, la implementación de nuevas e innovadoras formas de producir más amigable con el medio ambiente, se vuelven cruciales y con ello, las políticas que abarcan el calentamiento global y la reducción de las emisiones de efecto invernadero para promover un crecimiento económico sostenible con un nivel más alto de bienestar en cada región, son de gran interés y debate internacional.

Sin duda, satisfacer las necesidades humanas sin transgredir los límites planetarios y contrarrestar los problemas ambientales requiere una acción inmediata y cambios por parte de los gobiernos, la industria y la sociedad en general (Silvestre & Ţîrcă, 2019). Por tanto, aunque los países ricos tienen una mayor influencia para reducir las huellas de la humanidad, los esfuerzos deben ser de todos los países sin importar que sean de altos o bajos ingresos (Scherer et al., 2018), puesto que los efectos no tienen un alcance únicamente local, sino regional y mundial (CEPAL[5], 2018). En este sentido, uno de los mecanismos más importantes para impulsar el desarrollo económico y lograr un cambio estructural es la innovación (Schumpeter, 1934). Según Amir (1995) el progreso tecnológico permite a la sociedad experimentar futuros de desarrollo sostenible donde su bienestar siempre aumenta, posiblemente de manera exponencial.

En perspectiva, el gasto en I + D se puede tomar como motor de un crecimiento económico menos contaminante (Fernández, López & Blanco, 2018). Siendo así, que en

[5] Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL.

los últimos años, el amplio consenso existente sobre que el cambio tecnológico es el camino para lograr un desarrollo sostenible (Krekel, Samsun, Peters & Stolten, 2018), ha provocado un gran interés en la innovación y su promoción, involucrando a la mayoría de los agentes económicos (Fernández, López & Blanco, 2018). Por tanto, invertir en ciencia, tecnología e innovación parece ser fundamental para el desarrollo económico y el progreso social.

En la misma dirección que los estudios previos, Wiebe (2018) menciona que un cambio en la tecnología provoca que las emisiones de la industrialización disminuyan en sentido ascendente. Sin embargo, los problemas ambientales y sus soluciones no están basados únicamente en la tecnología. Las medidas de mejora requieren cambios en las políticas, la organización y las actitudes de las personas (Venselaar, 1995). A esto, se suma la creciente necesidad de educación ambiental y capacitación en producción limpia para ser aplicada a una amplia gama de procesos y aplicaciones industriales (Hale, 1995). La presión ambiental tiende a aumentar con el desarrollo económico y el crecimiento económico genera efectos contrapuestos sobre el medio ambiente (Aydin, Esen & Aydin, 2019). Sin embargo, las mejoras tecnológicas y cambios en las preferencias que acompañan al crecimiento económico pueden dar lugar a que los impactos ambientales relativos del crecimiento sean cada vez menores. En niveles de desarrollo elevados, suelen frenarse las tasas de degradación ambiental debido a que se producen cambios estructurales hacia economías tercializadas y hacia sectores relacionados con la tecnología y la información y se suelen observar cambios en las preferencias de los individuos que se reflejan en cambios en las pautas de consumo, regulaciones ambientales más estrictas y mayores gastos en protección y conservación ambiental.

No obstante, en otra perspectiva, también se argumenta que si bien la I + D de ahorro de energía se ha convertido en una forma particularmente importante de reducir las emisiones contaminantes, la mayoría de los principales emisores de carbono no pueden alcanzar sus objetivos ambientales al menos que las tasas de inversión en I + D de los países aumenten a niveles radicalmente altos, puesto que de continuar con las mismas tendencias de crecimiento en I + D, el calentamiento global en el año 2100 no se podría controlar por debajo de 2 o 1,5 ° C como promueven los organismos internacionales (Gu & Wang, 2018). De manera similar, los análisis de Bosetti, Carraro, Duval & Tavoni (2011) indican que es poco probable que las políticas de innovación por sí mismas estabilicen la

concentración y la temperatura globales sobre todo, cuando no se consideran acuerdos de política de innovación global más óptimos.

En este escenario, Fernández, López & Blanco (2018) argumentan que la innovación y el desarrollo tecnológico tienen características particulares que hacen que sus mejoras de eficiencia pueden llevar a un efecto rebote o a un efecto secundario, dado que, la innovación en un sentido amplio puede tener efectos positivos o negativos en otros sectores diferentes de aquellos en los que se produjo la innovación inicial.

Aunque la literatura empírica referente a los factores que inciden en la contaminación ambiental, así como las posibles soluciones que se pueden adoptar para disminuirla es amplia. No existen extensas investigaciones que analicen y relacionen directamente el efecto que tiene el gasto en I+D en las emisiones de CO2 y más aún en la huella ecológica, dos medidas de degradación ambiental ampliamente estudiadas y utilizadas en otros contextos. En este sentido, trabajos como el de Aydin, Esen & Aydin (2019) que analiza los efectos que tiene el crecimiento económico en las huellas ecológicas; el de Hammond (2000) que sostiene que las fuentes de energía ponen en riesgo la calidad y la viabilidad a largo plazo de la biosfera como resultado de efectos secundarios que dan lugar a peligros ambientales potenciales a escala local, regional y global; el de Alvarado, Ponce, Criollo, Córdova & Khan (2018) en el que señalan que el consumo de energía y la fabricación tienen una relación positiva y estadísticamente significativa con las emisiones de dióxido de carbono; y el de Scherer et al., (2018) en el que muestra que el sector alimentario domina las huellas de todos los grupos de ingresos puesto que a nivel mundial, comprende el 28% de la huella de carbono de los hogares, son un claro ejemplo. Por lo cual, existe un vacío en el conocimiento de tan importante temática que este trabajo pretende cubrir.

4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La presente investigación se sustenta en el objetivo 9 y 13 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que hacen hincapié en la importancia del progreso tecnológico y la

sustentabilidad del medio ambiente respectivamente. Y, en los artículos 2 y 6 del Acuerdo de París para el cambio climático[6].

Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructuras

El progreso tecnológico debe estar en la base de los esfuerzos para alcanzar los objetivos medioambientales, el aumento de los recursos y la eficiencia energética. Por tanto, es fundamental para encontrar soluciones permanentes a los desafíos económicos y ambientales. Promover la inversión en investigación e innovación científica facilita el desarrollo sostenible (PNUD[7], 2018).

Particularmente, la meta 9.5 y sus respectivos literales (a y b), señalan lo siguiente:

> 9.5 *Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo.*
>
> *9. a Facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países en desarrollo mediante un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico a los países africanos, los países menos adelantados, los países en desarrollo sin litoral y los pequeños Estados insulares en desarrollo.*
>
> *9. b Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas (CEPAL, 2018).*

---

[6] El Acuerdo de París se creó con el objetivo de reducir los gases de efecto invernadero y evitar el calentamiento global de más de 2 grados Celsius con respecto a los niveles preindustriales. Esta cifra se considera como el umbral para los daños sociales y económicos más graves del cambio climático.
[7] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Objetivo 13: Acción por el clima

El cambio climático afecta a todos los países del mundo, produciendo daños permanentes en el sistema climático y un impacto negativo en la economía, la vida de las personas y las comunidades (PNUD, 2018). En un futuro debido al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero las consecuencias del cambio climático serán peores. Y con ello, los cambios en los patrones climáticos, el aumento del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos más extremos también se maximizaran. Con esto, "las personas más pobres y vulnerables serán los más perjudicados" (CEPAL, 2018).

Las emisiones de cualquier punto del planeta afectan a otros lugares lejanos. Por tanto, el cambio climático es un reto global que no respeta las fronteras nacionales y un problema que requiere que la comunidad internacional trabaje de forma coordinada. "En este sentido, los países adoptaron el Acuerdo de París sobre cambio climático en diciembre de 2015" (CEPAL, 2018).

Las metas del Objetivo 13, plantean lo siguiente:

13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

13. a Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible.

13. b Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginales (CEPAL,2018).

Los artículos 2 y 6 del Acuerdo de París por el cambio Climático mencionan lo siguiente:

Artículo 2 en sus numerales 1 literal a, b, c:

1. El presente Acuerdo, al mejorar la aplicación de la Convención, incluido el logro de su objetivo, tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello:

a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 º C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 º C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;

b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos; y

c) Situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

El **Artículo 6** en su numeral 4 literal a, b, c, d establece un mecanismo para contribuir a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y apoyar el desarrollo sostenible. El presente Acuerdo, tendrá por objeto:

a) Promover la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, fomentando al mismo tiempo el desarrollo sostenible;

b) Incentivar y facilitar la participación, en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de las entidades públicas y privadas que cuenten con la autorización de las Partes;

c) Contribuir a la reducción de los niveles de emisión en las Partes de acogida, que se beneficiarán de actividades de mitigación por las que se generarán reducciones de las emisiones que podrá utilizar también otra Parte para cumplir con su contribución determinada a nivel nacional; y

d) Producir una mitigación global de las emisiones mundiales (UNFCCC[8], 2015).

Alcanzar el Objetivo 13 de los ODS, es un reto global que requiere de una acción coordinada (CEPAL, 2018). Entre líneas, el Programa de las Naciones Unidas (PNUD, 2018), sitúa al progreso tecnológico e innovador como la base de los esfuerzos para alcanzar los objetivos económicos y medioambientales (Objetivo 9). Por tanto, se torna crucial abordar la relación de estos dos objetivos y encontrar mejores soluciones a los desafíos de desarrollo sostenible planteados alrededor del mundo. La presente investigación, mediante el análisis de la relación que tiene el gasto en I+D y la degradación ambiental en el corto y largo plazo, busca generar y otorgar nueva evidencia empírica a los encargados de efectuar políticas medioambientales. Y, proporcionar condiciones mínimas claras para contribuir al debate sobre la eficacia que tiene la promoción de los gastos en investigación y desarrollo en el ámbito ambiental a nivel global y en las diferentes regiones.

[8] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, UNFCCC por sus siglas en inglés.

e. MATERIALES Y MÉTODOS

1. MATERIALES

En la realización del presente trabajo investigativo, se utilizaron los siguientes materiales:

- Computadora
- Hojas de papel bond
- Carpetas
- USB Flash Memory
- Esferográficos
- Internet

2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.1.Explorativa

Para analizar la relación del gasto en I+D, las emisiones de CO2 y la huella ecológica, se realizó una investigación de tipo exploratoria, la misma que permitió conocer el contexto del tema a través de la recolección de datos y evidencia necesaria para interpretar y evaluar la relación entre las variables del modelo.

2.2. Descriptiva

La investigación fue de tipo descriptiva, debido a que permitió detallar y describir los datos, las características y aspectos más importantes del comportamiento de las variables objetivo para cada región y a nivel mundial en el periodo 1996-2016.

2.3.Correlacional

La presente investigación fue de tipo correlacional, debido que se evidenció la correlación entre las variables del modelo mediante técnicas econométricas.

2.4. Explicativa

Asimismo, esta investigación fue de tipo explicativa, dado que los resultados obtenidos se explicaron e interpretaron para posteriormente formular las respectivas alternativas de solución ante la problemática de la presente investigación.

3. 3. MÉTODOS

3.1.Inductivo

La utilización de este método servirá para formular las respectivas conclusiones generadas de la investigación a partir de la hipótesis planteada.

3.2.Deductivo

Mediante la utilización de este método se hizo un análisis de la información obtenida y procesada y se determinó las respectivas conclusiones del modelo objeto de análisis

3.3.Analítico

Este método ayudó a identificar las partes de interés a lo largo de la investigación, revisando cuidadosamente toda la información obtenida.

3.4.Sintético

Este método permitió hacer observaciones a partir de los elementos distinguidos por el análisis y dar cumplimiento a los objetivos planteados.

3.5. Estadístico

Con la utilización de este método se realizó el análisis de los datos cuantitativos de la investigación, se utilizó principalmente como proceso de obtención, representación, análisis, interpretación y proyección de las variables de esta investigación para una mejor comprensión de la realidad y una optimización en la toma de decisiones.

4. 4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

4.1.Técnicas

4.1.1. Bibliográfica

Esta técnica se utilizó para la obtención de información necesaria para el desarrollo del presente trabajo investigativo.

4.1.2. Estadística

Esta técnica permitió recopilar, organizar y analizar los resultados encontrados de la investigación, para cumplir con los objetivos planteados y extraer las respectivas conclusiones y recomendaciones.

5. Instrumentos

En la presente investigación se utilizó los siguientes instrumentos:

5.1.Ficha bibliográfica

La ficha bibliográfica, permitió registrar e identificar los datos y las diferentes fuentes de información y evidencia.

5.2.Paquetes de software estadísticos

El uso de este instrumento fue indispensable para analizar los datos y obtener los resultados necesarios para la discusión y formulación de las conclusiones y posteriores recomendaciones.

6. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

6.1.ANÁLISIS DE DATOS

Los datos recopilados para la presente investigación, fueron extraídos de la Base de Datos de Emisiones para la Investigación Atmosférica Global (EDGAR[9], 2018) y de la base de la Red Global de la Huella (2018) para las variables dependientes; y de la base de datos de la UNESCO (2018) para la variable independiente. Con el fin de examinar la relación de corto y largo plazo entre las variables del modelo, usamos como variables dependientes las emisiones de dióxido de carbono (CO2) medida en toneladas métricas per cápita y la huella ecológica medida en hectáreas globales per cápita. Y como variable independiente el gasto interno bruto en I + D per cápita a precios constantes 2005. Sin embrago, para efectos de análisis, todas las variables serán expresadas en logaritmos.

Para poder cumplir con los objetivos planteados, la investigación utiliza la clasificación de las regiones que hace el Banco Mundial (2018), unificando la región de Norteamérica

[9] EDGAR, por sus siglas en inglés.

con la de Europa y Asia Central, cuyos países comparten características similares. Así tenemos seis regiones: Asia oriental y el Pacífico (AO, P); Norteamérica, Europa y Asia Central (N, E, AC); América Latina y el Caribe (AL, C); Medio Oriente y África del Norte (MO, AN); Asia del Sur (AS) y África Subsahariana (ASub). Y mediante un modelo econométrico de datos de panel, analizamos la relación de corto y largo plazo entre las variables, así como también la causalidad entre las mismas durante el periodo 1996-2016.

Las bases de datos utilizadas para la variable de la huella ecológica[10]y las emisiones de CO2, tienen datos para casi 150 países y 216 respectivamente. No obstante, existe una limitada disponibilidad de datos para todos los años de la variable independiente, razón por la cual, el presente trabajo abarca únicamente el estudio de 85 países a nivel global. Las variables del modelo forman un panel estrictamente balanceado, el cual permite combinar una dimensión temporal y otra transversal sobre los diferentes países y controlar la heterogeneidad no observada entre las regiones.

Antes de estimar el modelo econométrico, en la Tabla 1 detallamos la descripción de las variables utilizadas en esta investigación, y en Tabla 2 realizamos un análisis de los estadísticos descriptivos de las mismas.

Tabla 1. Descripción de las variables

Variable	Nombre	Medida	Descripción	Medida para análisis
Variable dependiente	Emisiones de dióxido de carbono (CO2)	Medida en toneladas métricas per cápita	Contaminación atmosférica.	Logaritmo
	Huella ecológica	Medida en hectáreas globales per cápita.	Espacio de tierra, agua y aire biológicamente productivo del planeta o de una región necesarios para generar una determinada cantidad de recursos y asimilar los residuos (Galli et al., 2016).	Logaritmo
Variable independiente	Gasto en investigación y desarrollo (I + D)	Medida a precios constantes 2005 per cápita.	Gasto interno bruto que realiza el gobierno en investigación y desarrollo.	Logaritmo

[10] La base disponible, tiene datos hasta el año 2014, razón por la cual se extrapolo los últimos dos años.

La Tabla 2 muestra los resultados, al igual que la media, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos y el número de observaciones de las dos medidas de gradación ambiental y el gasto en I+D a nivel global para los 85 países agrupados por regiones. Las tres variables forman un panel estrictamente balanceado con 1785 observaciones. La desviación estándar (SD) *between* de las emisiones de CO2 es aproximadamente de 1.21, lo cual representa aproximadamente más de siete veces la variación *within* que es .16. Por tanto, las emisiones de CO2, son más estables en el tiempo entre los países que dentro de los países. De manera similar, la variable de la huella ecológica presenta una mayor variabilidad en el tiempo entre los países que dentro de los países, el SD *between* (.63) es mayor a *within* (.14). Con respecto al gasto en I+D, la variación *between* es de 1.95 y la variación *within* es de .42 aproximadamente. Estos resultados se pueden explicar por las diferencias en el nivel de desarrollo que experimentan las economías en las diferentes regiones.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las variables del modelo

Variable		***Mean***	***Std. Dev.***	***Min***	***Max***	***Observaciones***
Log Emisiones de CO2 (per cápita)	Overall	1.33	1.22	-3.13	3.48	$N = 1785$
	Between		1.21	-2.83	3.31	$i = 85$
	Within		.16	-.01	1.98	$T = 21$
Log Huella ecológica (per cápita)	Overall	1.22	.64	-.30	2.83	$N = 1785$
	Between		.63	-.20	2.65	$i = 85$
	Within		.14	-.41	2.48	$T = 21$
Log Gasto en I+D (per capital)	Overall	4.15	1.99	-2.55	7.57	$N = 1785$
	Between		1.95	-1.11	7.02	$i = 85$
	Within		.42	2.20	6.45	$T = 21$

6.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La estrategia econométrica orientada para verificar las hipótesis y cumplir con los tres objetivos específicos, se divide en cinco etapas. Primero, con el fin de comprobar la asociación y la dirección de la relación entre la degradación ambiental y el gasto en I+D, estimamos una regresión de línea base y planteamos el siguiente modelo:

$$\text{Log Da}_{i,t} = (\beta_0 + \delta_0) + \beta_1(Log\ I + D_{i,t}) + \varepsilon_{i,t} \qquad (1).$$

Donde, $\text{Log Da}_{i,t}$ representa el logaritmo de la variable dependiente (degradación ambiental) medida por dos variables: las emisiones de CO2 y huella ecológica. Log(I +

$D_{i,t}$) es la variable independiente medida por el gasto en investigación y desarrollo del país $i = 1, \dots, 85$ del periodo $t = 1996, \dots, 2016$. $\mathcal{E}_{i,t}$ es el término de error y los parámetros $\beta_0 + \delta_0$ capturan la variabilidad en el tiempo (años) y espacio de los países. El test de Hausman (1978) fue utilizado para elegir entre un modelo de efectos fijos (FE) y aleatorios (RE). La incorporación de efectos fijos al modelo, además de ayudar a obtener estimadores más consistentes, capturan la heterogeneidad espacial y temporal (Gujarati & Porter, 2010). Sin embargo, los estimadores del modelo pueden estar sesgados debido a la dependencia del término de error, ya sea por la presencia de correlación contemporánea (diferentes países) o correlación serial (dentro de cada país).

Además, la presencia de heteroscedasticidad causa que los estimadores pierdan robustez (Alvarado, Iñiguez, & Ponce, 2017). Por estas razones, mediante el test de Wald comprobamos la presencia de heteroscedasticidad y mediante el test de Wooldridge (1991) la presencia de autocorrelación. Para contrarrestar estos problemas y asegurar que el modelo no pierda consistencia, seguimos la estrategia de Wooldridge (2002) y estimamos un modelo de Mínimos Cuadrados Generalizados (GLS) que brinda estimadores insesgados y eficientes.

A partir de la Ecuación 1, en la segunda etapa, siguiendo a Ortiz, Alvarado & Salinas (2018) para verificar que las series no tengan el problema de la raíz unitaria y determinar el orden de integración de las mismas, utilizamos junto a las pruebas paramétricas de Dickey & Fuller Aumentado (1981) y Phillips & Perron (1988), las pruebas no paramétricas de Levine, Lin & Chu (2002), Im, Pesaran & Shin (2003) y Breitung (2002). Todas las pruebas pueden ser estimadas a partir de la siguiente ecuación:

$$Log\ Da_{i,t} = \alpha_0 + \beta Log\ Da_{i,t-1} + \alpha_1 t + \sum_{i=2}^{p} \lambda_j\ Log\ Da_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}$$

(2).

Donde, $Log\ Da_t$ representa las variables dependientes, α_0 es el intercepto, t captura el efecto tendencial del tiempo, $\varepsilon_{i,t}$ es el error gaussiano blanco, y p representa la longitud del rezago. En la tercera etapa, mediante el test de cointegración de Pedroni (1999), estimamos la relación de largo plazo entre las dos variables del modelo. Este test, prueba la hipótesis nula de no cointegración frente a la hipótesis alternativa de cointegración en el largo plazo (Pedroni, 1999). La prueba permite "efectos fijos específicos del país,

tendencias temporales deterministas y coeficientes de pendiente heterogéneos en forma de diferentes vectores de cointegración a través de las unidades" (Ibhagui, 2019, p.5). La siguiente ecuación, formaliza el modelo a estimar:

$$Log\ Da_{i,t} = \alpha_{i,t} + \delta_{i,t} + \sum_{j=1}^{n-1} \beta_{ij} Log\ I + D_{it-j} + \sum_{j=1}^{n-1} \omega_{1j} Log\ Da_{i,t-j} + \pi_i ECT_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t} \qquad (3).$$

En la Ecuación 3, $Log\ Da_{i,t}$ representa la variable dependiente del país i en el periodo t. Los parámetros β, ω y π son los parámetros a ser estimados, el término ECT_{t-1} es el vector de cointegración de equilibrio de largo plazo, $\varepsilon_{i,t}$ es el término de error aleatorio estacionario con media cero que representa los residuos estimados de desviaciones de la relación de equilibrio a largo plazo y j es la longitud del desfase (Greene, 2003). Asimismo, el test de corrección de error presentado por Westerlund (2007) y que permite determinar el equilibrio de corto plazo entre las variables, es estimado a partir de la siguiente ecuación:

$$Log\ Da_{i,t} = \delta_i d_t + \alpha_i + Log\ Da_{i,t-1} - \beta_i Log\ I + D_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{Pi} \alpha_{ij} Log\ Da_{i,t-j} + \sum_{j=-qi}^{pi} \gamma_{ij} Log\ I + D_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t}$$

(4)..

Donde $t = 1996 - 2016\ T$ son los periodos de tiempo, $i\ =\ 85\ N$ el número de países y el término d_t es el componente determinístico. En la Ecuación 4, la hipótesis nula plantea que no existe cointegración a corto plazo y asumimos que los errores son independientes a través de i y t (Persyn & Westerlund, 2008). En la siguiente etapa estimamos la fuerza del vector de cointegración entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica utilizando el planteamiento de Pedroni (2001). Este test de cointegración, ofrece una prueba más contundente en comparación a los métodos basados en una única ecuación. Asimismo, para estimar la fuerza de la relación entre las variables, estimamos un modelo de mínimos cuadrados ordinarios dinámicos (DOLS) para los países de forma individual y un modelo de panel de mínimos cuadrados ordinarios dinámicos (PDOLS) para los grupos de países. Estos modelos proporcionan una mejor estimación para las relaciones a largo plazo entre las variables (Ibhagui, 2019) y pueden ser estimados a partir la siguiente ecuación:

$$Log\ Da_{i,t} = \alpha_i + \beta_i\, Log\ I + D_{i,t} + \sum_{j=-P}^{P} \gamma_{i,t} Log\ I + D_{i,t-j} + \mu_{i,t} \qquad (5).$$

En la Ecuación 5, $Log\ Da_{i,t}$ representa el logaritmo de las emisiones de CO2 y el logaritmo de la huella ecológica; P es el número de rezagos y adelantos, mientras que β_i mide el cambio de las variables dependientes cuando cambia el logaritmo del gasto en I+D; y $Log\ I + D_{i,t}$ contiene la variable explicativa. Finalmente, en la última etapa, analizamos las relaciones causales entre las variables y estimamos la existencia y la dirección de causalidad tipo Granger propuesta por Dumitrescu y Hurlin (2012). Esta prueba permite tener en cuenta la heterogeneidad de las relaciones causales y la heterogeneidad del modelo de regresión utilizado para probar la causalidad de Granger (Dumitrescu y Hurlin, 2012). Las relaciones de causalidad pueden ser unidireccionales, cuando una variable causa a otra y no se produce el mismo efecto desde la otra variable hacia la primera, y causalidad bidireccional cuando se produce el mismo efecto de dirección causal de una variable hacia otra. Las ecuaciones planteadas para comprobar y determinar la causalidad para nuestro estudio, es la siguiente:

$$Log\ Da_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^{K} \gamma_i^k Log\ Da_{i,t-k} + \sum_{k=1}^{K} \beta_i^k Log\ I + D_{i,t-k} + \mu_{i,t} \qquad (6).$$

$$Log\ I + D_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^{K} \gamma_i^k Log\ I + D_{i,t-k} + \sum_{k=1}^{K} \beta_i^k Log\ Da_{i,t-k} + \mu_{i,t} \qquad (7).$$

Donde $\beta i = \beta i^{(1)}, \ldots., \beta i^{(k)}$ y α_i denota los efectos individuales que deben corregirse en el tiempo, K representa la longitud de rezago y se supone que es igual para todas las unidades de sección transversal del panel, donde el panel está equilibrado. Los términos $\gamma_i^{(k)}$y $\beta_i^{(k)}$ denotan los parámetros de rezago y pendiente que se diferencian entre grupos. Es decir, se establece un modelo con efectos individuales fijos (Ortiz, Alvarado & Salinas, 2018).

6.3.PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

La siguiente investigación seguirá el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar el tema de la investigación y delimitar la temática de estudio.
2. Armar el marco teórico de la investigación, tomando en cuenta las bases teóricas y las investigaciones empíricas que sirvan de antecedentes.
3. Definir los criterios de la metodología a seguir, estableciendo el tipo, los métodos y las técnicas de investigación a utilizarse.
4. Examinar la información descriptiva, tomando en cuenta las observaciones necesarias que apoyen la teoría existente y generar las conclusiones y recomendaciones finales del presente estudio.
5. Realizar las respectivas revisiones y correcciones necesarias con el tutor asignado y elaborar el informe escrito de la investigación para su presentación.

f. RESULTADOS

La presente investigación para analizar el efecto y la relación que tiene el gasto interno bruto en investigación y desarrollo (I+D) en la degradación ambiental, incluye dos medidas de degradación ambiental: las emisiones de CO2 y la huella ecológica. Esto con el fin de proporcionar una plataforma sólida que permita evidenciar la relación que tienen las variables de interés. Cabe mencionar, que, para efectos de análisis, todas las variables están expresadas en logaritmos.

1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1

Analizar la evolución y la correlación entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica durante el periodo 1996-2016.

Para cumplir con el objetivo específico 1, se realizó un análisis de la evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en investigación y desarrollo (I+D) a nivel global y por regiones. Además, se analiza la correlación entre las variables considerando los 85 países de estudio, en el periodo 1996-2016

1.1.EVOLUCIÓN POR GRUPOS DE REGIONES DE LAS EMISIONES DE CO2, LA HUELLA ECOLÓGICA Y EL GASTO EN I+D

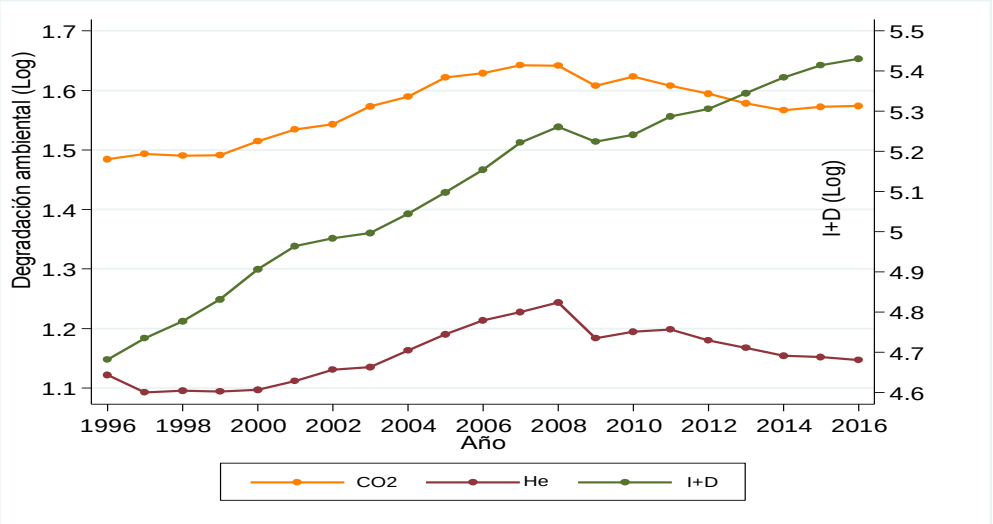

Figura 2. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para 85 países del mundo
Fuente: Elaboración propia con datos de la EDGAR, de la Red Global de la Huella y la UNESCO, 2018.

La Figura 2 muestra la evolución a través de los años de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D. La evolución de las emisiones de CO2 muestra un comportamiento tendencial ascendente hasta el año 2008. En el año 2009 observamos que existe un pequeño decrecimiento de las emisiones de CO2, de 1.65% en el 2008 a 1.61% en el 2009, para posteriormente aumentar a 1.63% en el año 2010 y empezar nuevamente a disminuir en pequeñas cantidades hasta el año 2014, a partir del cual empiezan a incrementarse nuevamente. A lo largo del periodo 1996-2016, las emisiones de CO2 per cápita han sido mayor en el año 2007 con una tasa de 1.65% y más bajas en el año de 1996 con una tasa de 1.49%. En el año 2008 las emisiones de CO2 mundiales, disminuyeron por primera vez desde el año 1983, por el efecto que la crisis económica tuvo principalmente sobre el consumo del petróleo en ese año.

Por otro lado, la huella ecológica tiene un notorio comportamiento ascendente durante los primeros 16 años y un comportamiento decreciente durante los últimos ocho años. La tasa de crecimiento más alta de este indicador fue en el año 2008 con un 1.25%, y la tasa de crecimiento más baja en el año 1997 con un 0.90%. Al igual que las emisiones de CO2, la huella ecológica disminuyo del año 2008 al año 2009, pasando del 1.25% al 1.19% respectivamente. Sin embargo, en el año 2010 y 2011 aumento levente, para posteriormente disminuir a partir del año 2012. Esto, puede ser una muestra de que los esfuerzos emprendidos entorno a combatir la contaminación han mejorado este indicador a nivel mundial. No obstante, las variaciones de los promedios son relativamente pequeños y pueden ocultar cambios significativos en determinadas regiones o países.

La evolución del gasto interno bruto en I+D, ha sido positiva en el trascurso de todo el periodo. Esto se puede explicar por el continuo crecimiento en investigación y desarrollo que los países, principalmente desarrollados, han impulsado en el trascurso de las últimas décadas. No obstante, por un lado, el proceso de adquisición, adaptación y desarrollo de tecnología no ha sido uniforme en todas las regiones del planeta; y por otro, “si bien se han logrado avances impresionantes sobre todo en el desarrollo de tecnologías de energía limpia, su éxito se ve frenado por la creciente demanda de combustibles fósiles, que están superando la implementación de estas tecnologías” (Agencia Internacional de Energía, 2018). La Agencia Internacional de Energía (2018), señala que “la demanda mundial del carbón para la producción de electricidad ha sido del 47% desde principios de siglo, lo

cual ha contrarrestado los esfuerzos de la energía limpia realizados durante el mismo período de tiempo".

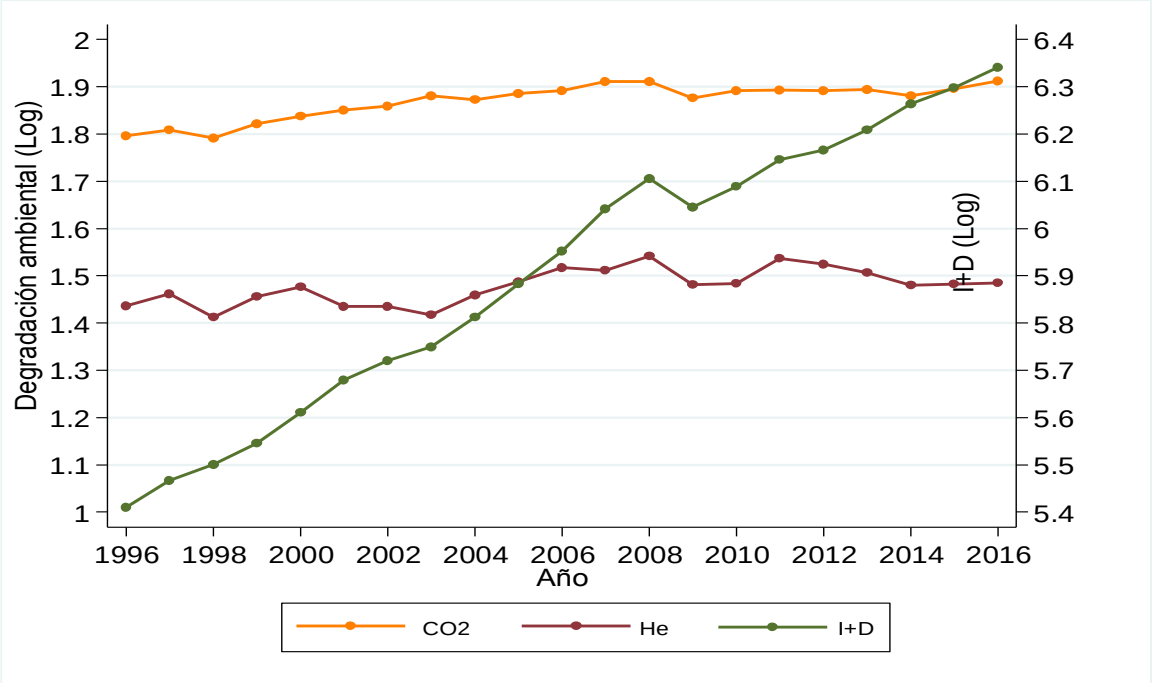

Figura 3. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de Asia Oriental y el Pacífico.
Fuente: Elaboración propia con datos de la EDGAR, de la Red Global de la Huella y la UNESCO, 2018.

La Figura 3 muestra que las emisiones de CO2 tienen un comportamiento ascendente en el trascurso de todos los años. En el año 2009 observamos que existe un leve decrecimiento de las emisiones de CO2 (de 1.91% en el año 2008 a 1.87% en al año 2009), para posteriormente aumentar en el año 2010 (1.90%) y mantenerse prácticamente hasta el año 2013. En el año 2014, vuelven a disminuir en una pequeña proporción (1.89%) a partir del cual empiezan a incrementarse nuevamente en los últimos dos años de análisis. La huella ecológica a lo largo del periodo 1996-2016, en cambio, tiene un comportamiento más cíclico. La tasa de crecimiento más baja de este indicador fue en el año 1998 con una tasa de crecimiento de 1.41%. A partir del año 2011 ha disminuido en pequeñas proporciones en los últimos cinco años. Asimismo, la evolución a través de los años del gasto interno bruto en I+D, tiene un comportamiento ascendente en el trascurso de todo el periodo. Sin embargo, el promedio de la tasa de crecimiento del gasto en I+D es menor al de las emisiones de CO2, pero mayor al de la huella ecológica a partir del año 2005.

El crecimiento de las emisiones de CO2 en esta región, se dan principalmente por China señalado como el mayor contaminador del mundo con una responsabilidad del 29.2% del total (Janssens-Maenhout et al., 2017). En cambio, el crecimiento del gasto en I+D se explica principalmente por las significativas inversiones que realizan Corea del Sur, Japón y China en este campo. Al año 2016, según un informe de la UNESCO (2016) la República de Corea invierte en Investigación y Desarrollo (I+D) el 4.3% de su PBI, Japón el 3,6% y China el 2%.

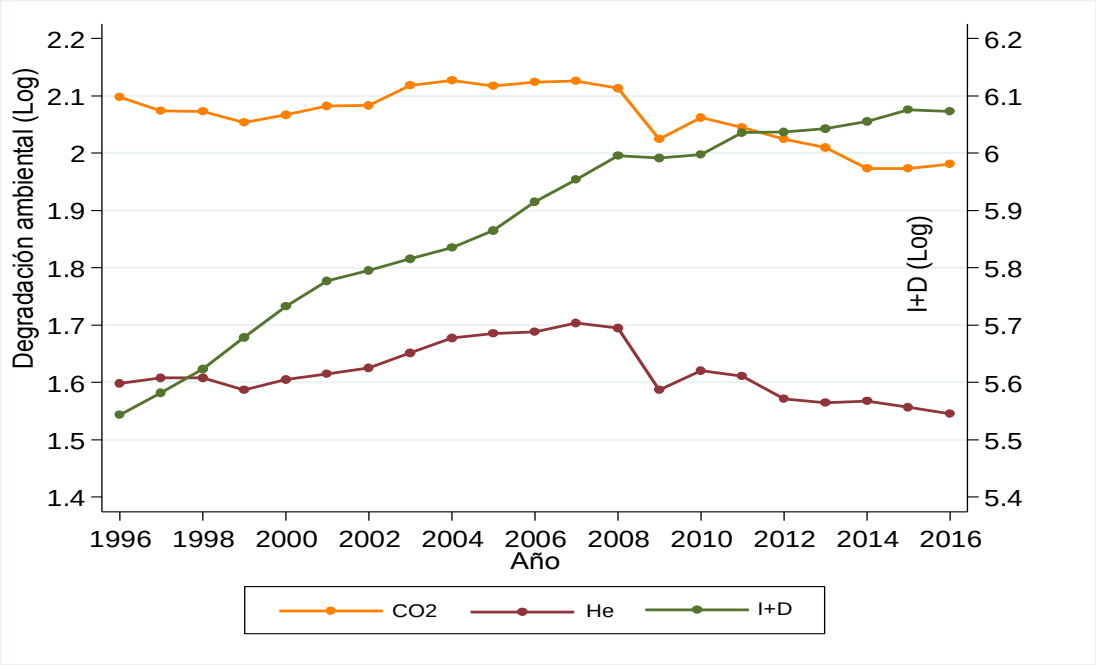

Figura 4. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de Norteamérica, Europa y Asia Central.
Fuente: Elaboración propia con datos de la EDGAR, de la Red Global de la Huella y la UNESCO, 2018.

La Figura 4 muestra que en promedio, las emisiones de CO2 de Norteamérica, Europa y Asia Central aumentaron del año 2000 al año 2008, disminuyeron en el año 2009 y aumentaron nuevamente para el año 2010, pasando así del 2.11% del año 2008 al 2.03% al año 2009 y 2.07% al año 2010. Además podemos observar que a partir del año 2011, las emisiones de CO2 han disminuido en pequeñas proporciones durante los últimos seis años. Un escenario similar, se puede observar para la variable de la huella ecológica. La tasa de crecimiento disminuyo en el año 2009, aumento levemente en el año 2010 y ha disminuido en pequeñas cantidades a partir del año 2011. En promedio, esta pasó del 1.60% en el año 1996 al 1.54% al año 2016. Al igual que en todo el mundo, la evolución a través de los

años del gasto interno bruto en I+D, tiene un comportamiento tendencial ascendente en el trascurso de los años, pasando de una tasa de 5.54% en 1996 a 6.07% en 2016.

En esta región, el estudio de estas variables tiene especial importancia para los países desarrollados que la conforman, "dada su responsabilidad histórica hacia el calentamiento global y al mismo tiempo, en las últimas décadas, los mismos países han estado a la vanguardia de la lucha contra el cambio climático en términos de esfuerzos de reducción de emisiones" (Mikayilov, Hasanov & Galeotti, 2018).

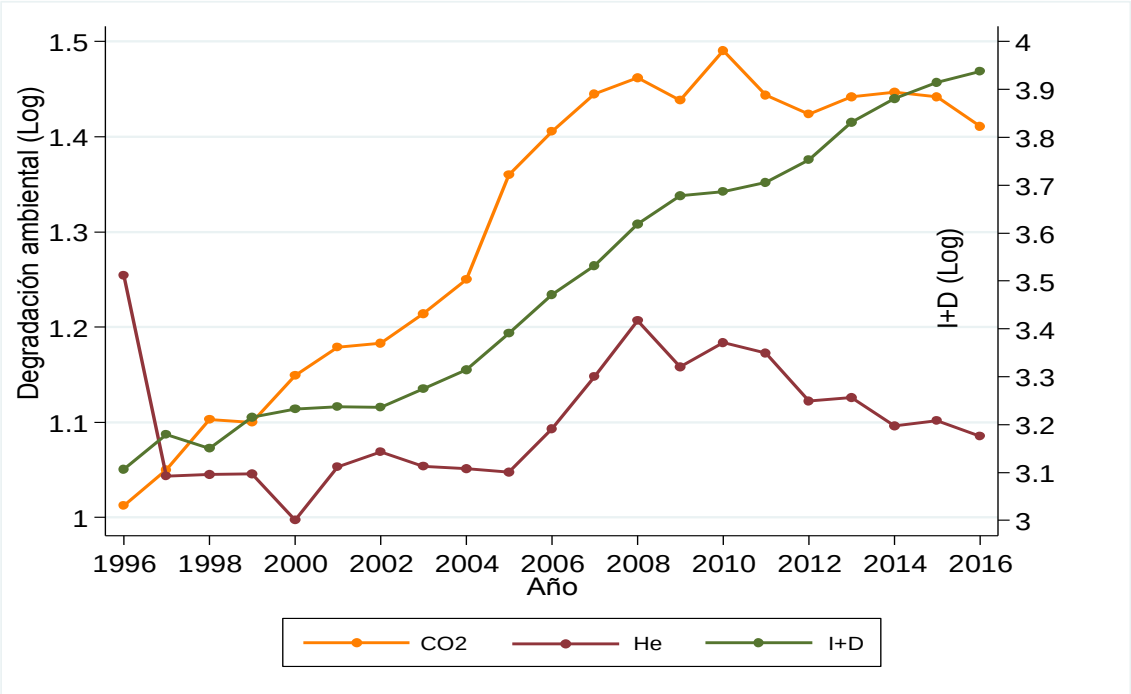

Figura 5. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de América Latina y el Caribe
Fuente: Elaboración propia con datos de la EDGAR, de la Red Global de la Huella y la UNESCO, 2018.

La Figura 5 muestra que la evolución de las emisiones de CO2 ha aumentado significativamente y tienen una pronunciación ascendente en el trascurso de los años 1996-2010, y a partir del año 2010 una tendencia decreciente. Las emisiones de CO2 per cápita han sido mayor en el año 2010 con una tasa de 1.49 % y las más bajas en el año de 1996 con una tasa de 1.01%. Por otro lado, la huella ecológica tiene un comportamiento más cíclico que ha fluctuado entre el 1.25% y el 1.08% durante todo el periodo. Podemos evidenciar que la mayor tasa de crecimiento fue en el año 1996 (1.25%) y la menor tasa en el año 2000 (0.99%).

Por otra parte, la evolución a través de los años del gasto en I+D, tiene un pronunciación ascendente en el trascurso de los años, pasando del 3.11% en el año 1996 al 3.94% en el año 2016. Sin embargo, el gasto en este sector, es bastante deficiente en toda América Latina. Según el informe del Índice Mundial de Innovación (2017), Chile es el país que mejor se ubica de esta región, ocupando el lugar 46 de los 127 países analizados (Dutta, Lanvin, & Wunsch-Vincent, 2017).

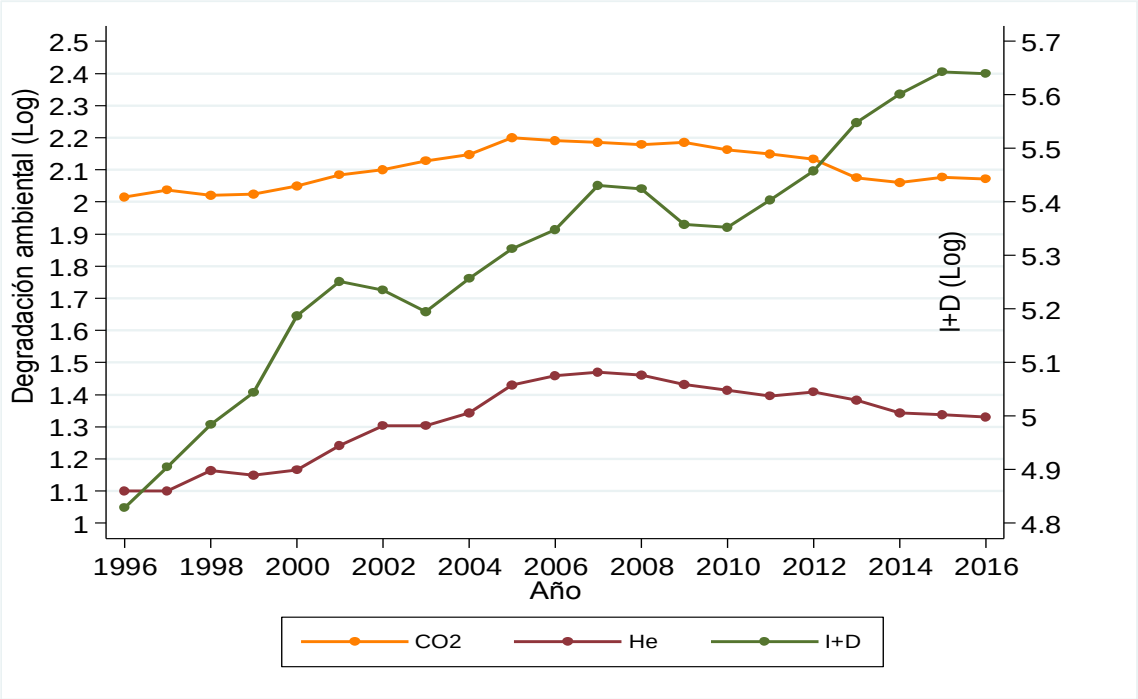

Figura 6. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de Medio oriente y África del Norte.
Fuente: Elaboración propia con datos de la EDGAR, de la Red Global de la Huella y la UNESCO, 2018).

La Figura 6 muestra que las emisiones de CO2 han aumentado y tienen una pronunciación positiva en el trascurso de los años 1996-2005, y a partir del año 2005 un comportamiento decreciente. Las emisiones de CO2 per cápita han sido mayor en el año 2005 con una tasa de 2.20 % y las más bajas en el año de 1996 con una tasa de 2.01%. Por otro lado, la huella ecológica también se ha incrementado a través de los años, pasando de una tasa de 1.10% en 1996 a 1.33% en 2016.

La evolución del gasto interno bruto en I+D, también tiene un comportamiento tendencial creciente en el trascurso de todo el periodo, pasando del 4.83% en el año 1996 al 5.64% en el año 2016. El país de esta región que más gasta en I+D, es Israel con un

4.1% de su PIB (UNESCO, 2016). Este país emite bajas emisiones de CO2, pero su huella ecológica supera su biocapacidad en un 1.64% (Red Global de la Huella, 2018).

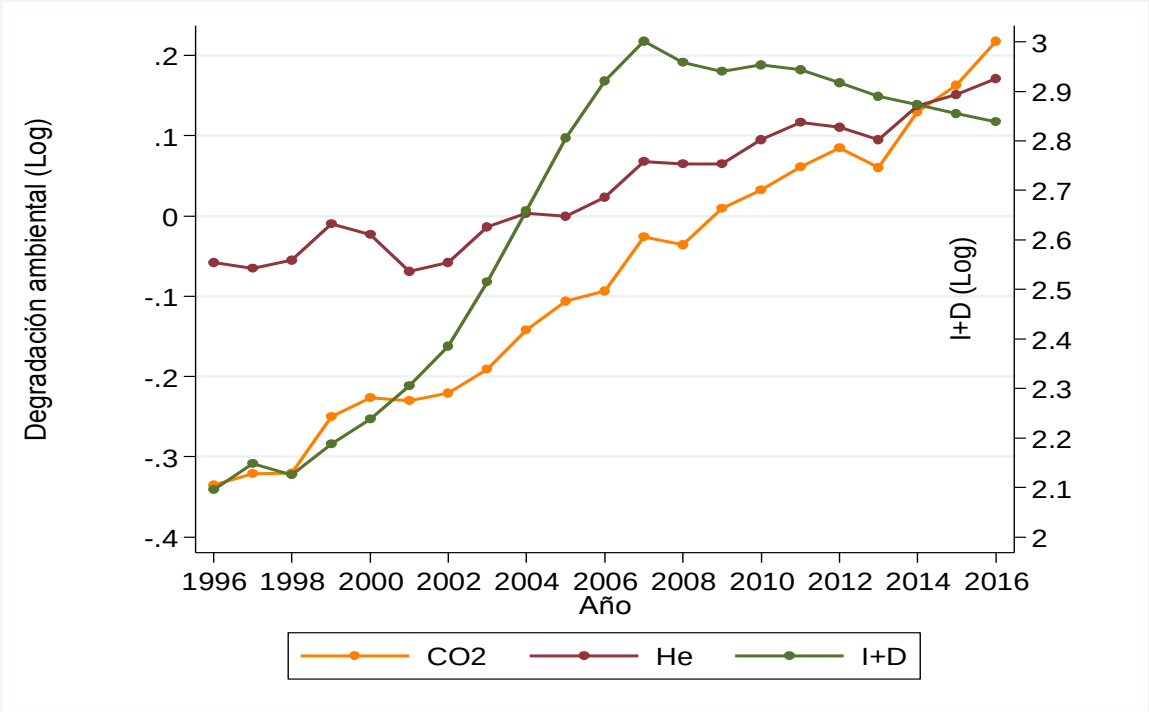

Figura 7. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de Asia del Sur
Fuente: Elaboración propia con datos de la EDGAR, de la Red Global de la Huella y la UNESCO, 2018).

En la Figura 7, podemos observar que la evolución de las emisiones de CO2 tiene una pronunciación ascendente en el trascurso de todo el periodo de análisis, pasando del -0.34% en el año 1996 al 0.22% en el año 2016. De igual forma, la tasa de crecimiento de la huella ecológica, tienen un comportamiento similar a través de los años, pasando del -0.06% en el año 1996 al 0.17% en el año 2016. La tasa de crecimiento del gasto en I+D, en cambio muestra una tendencia ascendente hasta el año 2007 y una decreciente desde el año 2008. Los tres países que representan esta región emiten grandes toneladas de emisiones de CO2, y su huella ecológica supera su biocapacidad en grandes proporciones. La India tiene un déficit ecológico de 148%, Pakistán del 98% y Sri Lanka del 218% (Red Global de la Huella, 2018).

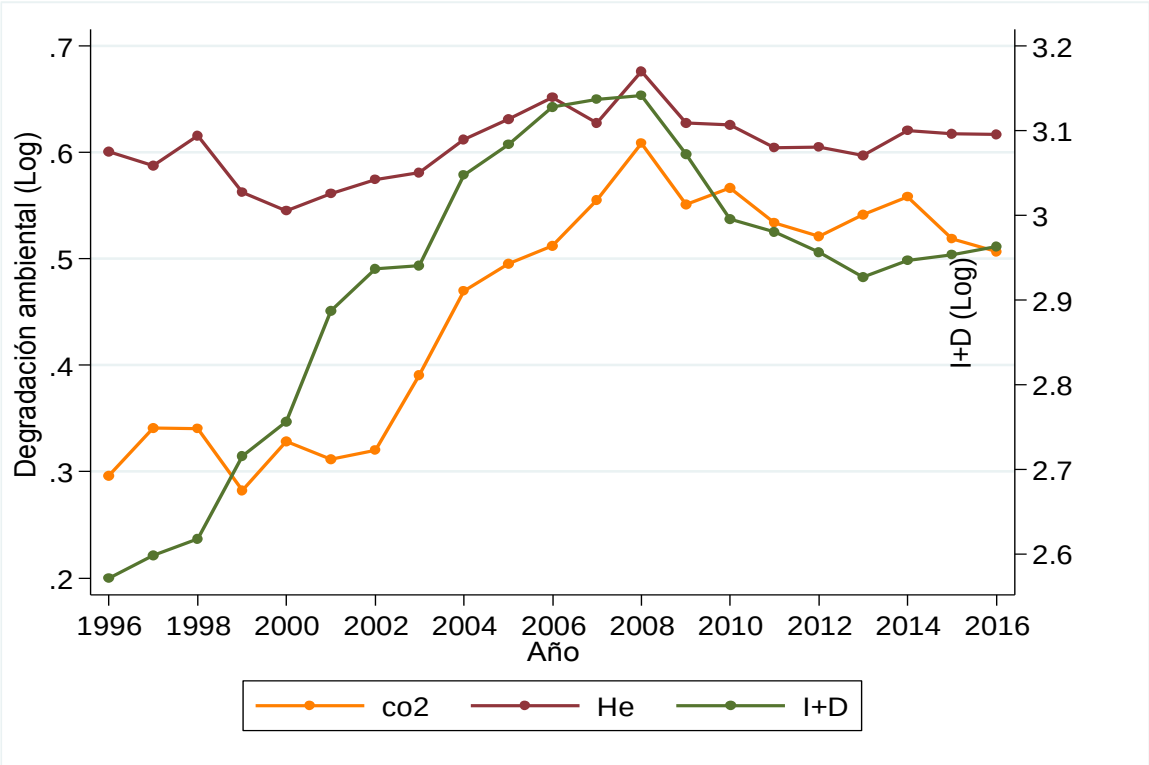

Figura 8. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de África Sub-Sahariana.
Fuente: Elaboración propia con datos de la EDGAR, de la Red Global de la Huella y la UNESCO, 2018).

La Figura 8 muestra que las emisiones de CO2 han aumentado y tienen un comportamiento creciente durante el periodo 1996-2016. Las emisiones de CO2 per cápita han sido mayor en el año 2008 con una tasa de 0.61 % y bajas en el año de 1999 con una tasa de 0.28%. Por otro lado, la huella ecológica no ha tenido grandes variaciones en el trascurso de todo el periodo, pasando de una tasa de 0.60% en 1996 a 0.62% en 2016. El gasto interno bruto en I+D muestra una tendencia positiva hasta el año 2008, y a partir del año 2009 ha disminuido en pequeñas proporciones hasta el año 2016. Además, podemos observar que el gasto en I+D, ha pasado del 2.57% en el año 1996 al 2.96% en el año 2016. Los países que conforman esta región también tienen grandes déficit ecológicos, altas emisiones de CO2 y bajos niveles de gasto en I+D.

1.2.CORRELACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO2 Y EL GASTO EN I+D

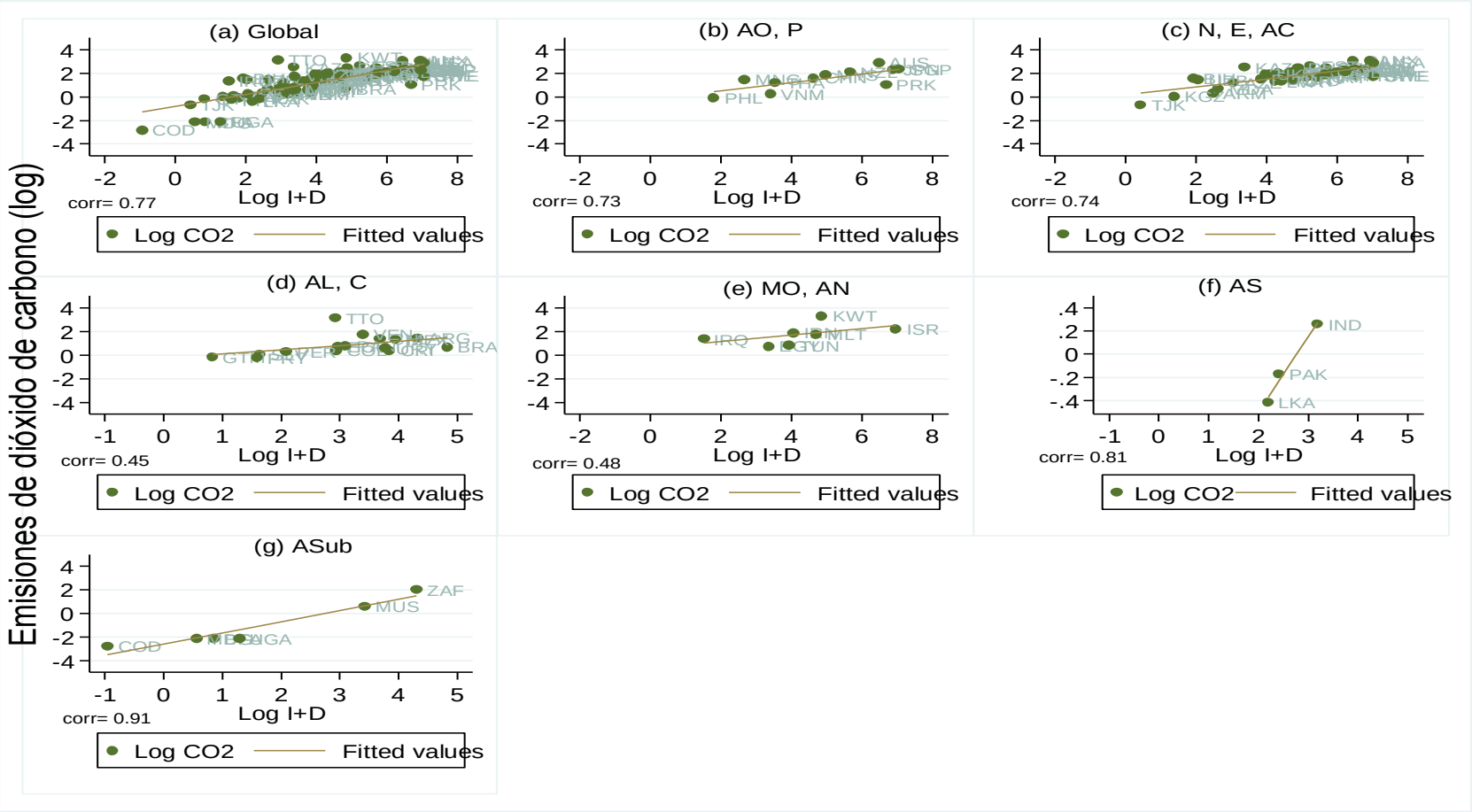

Figura 9. Correlación entre el logaritmo de las emisiones de CO2 y el logaritmo del gasto en I+D
Fuente: Elaboración propia con datos de la EDGAR (2018) y la UNESCO (2018).

Después de observar la evolución de las variables en el tiempo de cada una de las regiones, analizamos la correlación entre las mismas. La Figura 9 muestra la correlación entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D. En todos los paneles podemos observar una correlación positiva entre las variables, por tanto, cuando el logaritmo del gasto en I+D aumenta, el logaritmo de las emisiones de CO2 también aumenta. Esta relación se mantiene a nivel global y en cada una de las regiones analizadas: Asia oriental y el Pacífico (AO, P); Norteamérica, Europa y Asia Central (N, E, AC); América Latina y el Caribe (AL, C); Medio Oriente y África del Norte (MO, AN); Asia del Sur (AS) y África Subsahariana (ASub).

1.3.CORRELACIÓN ENTRE LA HUELLA ECOLOGICA Y EL GASTO EN I+D

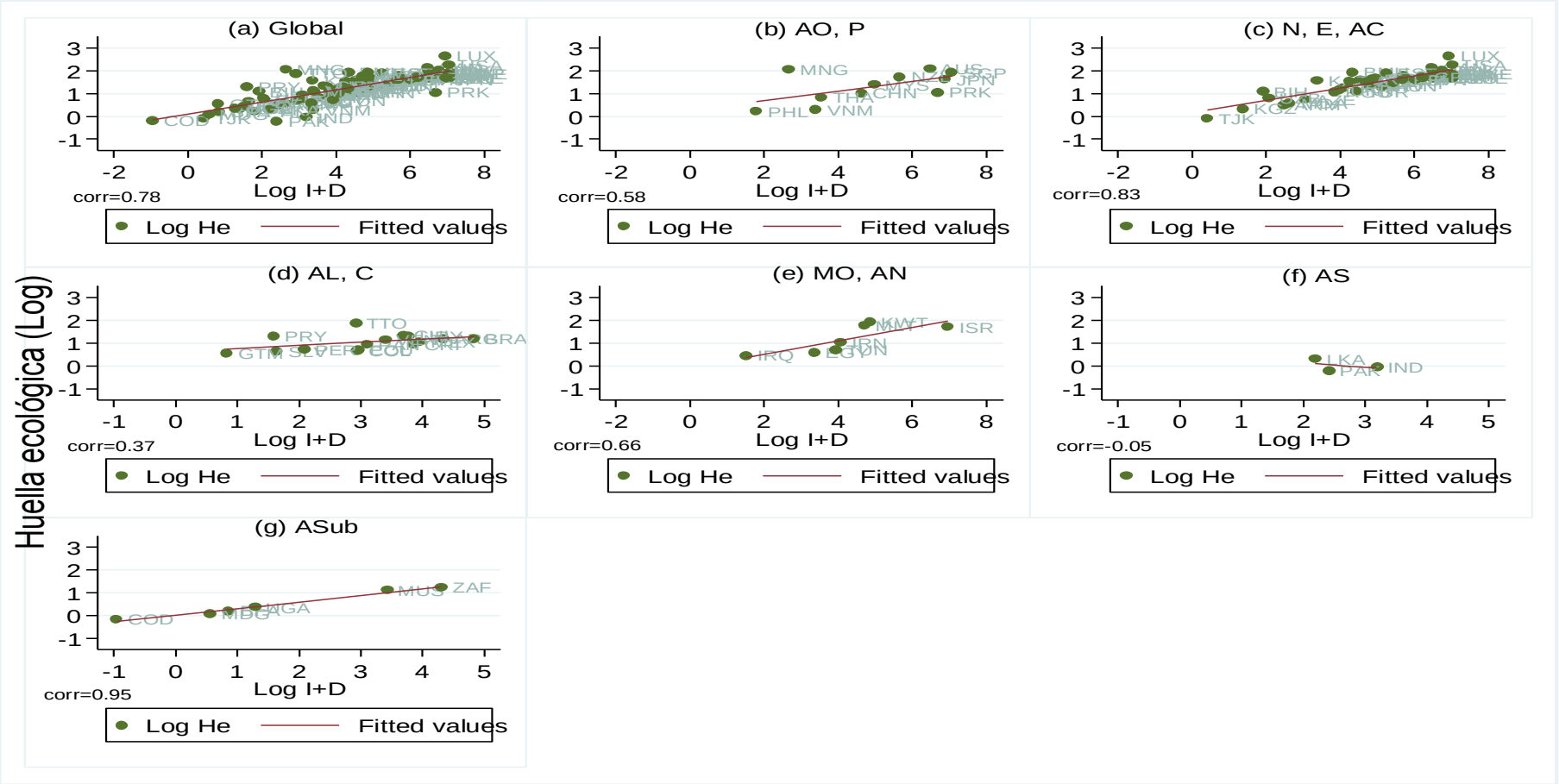

Figura 10. Correlación entre el logaritmo de la huella ecológica y el logaritmo del gasto en I+D.
Fuente: Elaboración propia con datos de la Red Global de la Huella (2018) y la UNESCO (2018).

La Figura 10 muestra los resultados de la correlación entre la tasa de crecimiento de la huella ecológica y la tasa de crecimiento del gasto en I+D. La correlación es positiva a nivel global y en cada una de las regiones, con excepción de la región de Asia del Sur. En esta región la relación entre las dos variables es débilmente negativa. Por tanto, a nivel global y en las regiones de Asia oriental y el Pacífico (AO, P); Norteamérica, Europa y Asia Central (N, E, AC); América Latina y el Caribe (AL, C); Medio Oriente y África del Norte (MO, AN y África Subsahariana (ASub), cuando el logaritmo del gasto en I+D aumenta, el logaritmo de la huella ecológica también aumenta. Mientras que en la región de Asia del Sur (AS), cuando el logaritmo del gasto en I+D aumenta, el logaritmo de la huella ecológica disminuye.

Cabe mencionar que por la falta de disponibilidad de datos la región de Asia del Sur, está representada únicamente por tres países. Razón por la cual, los resultados de esta región, son poco consistentes.

1.4. Representaciones gráficas asociadas a la degradación ambiental a nivel mundial

Para comprender de mejor forma la relación entre las variables de estudio se realizaron dos mapas en la Figura 11 se representa geográficamente la relación entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D mientras que en la Figura 12 se representa geográficamente la relación entre la huella ecológica y el gasto en I+D.

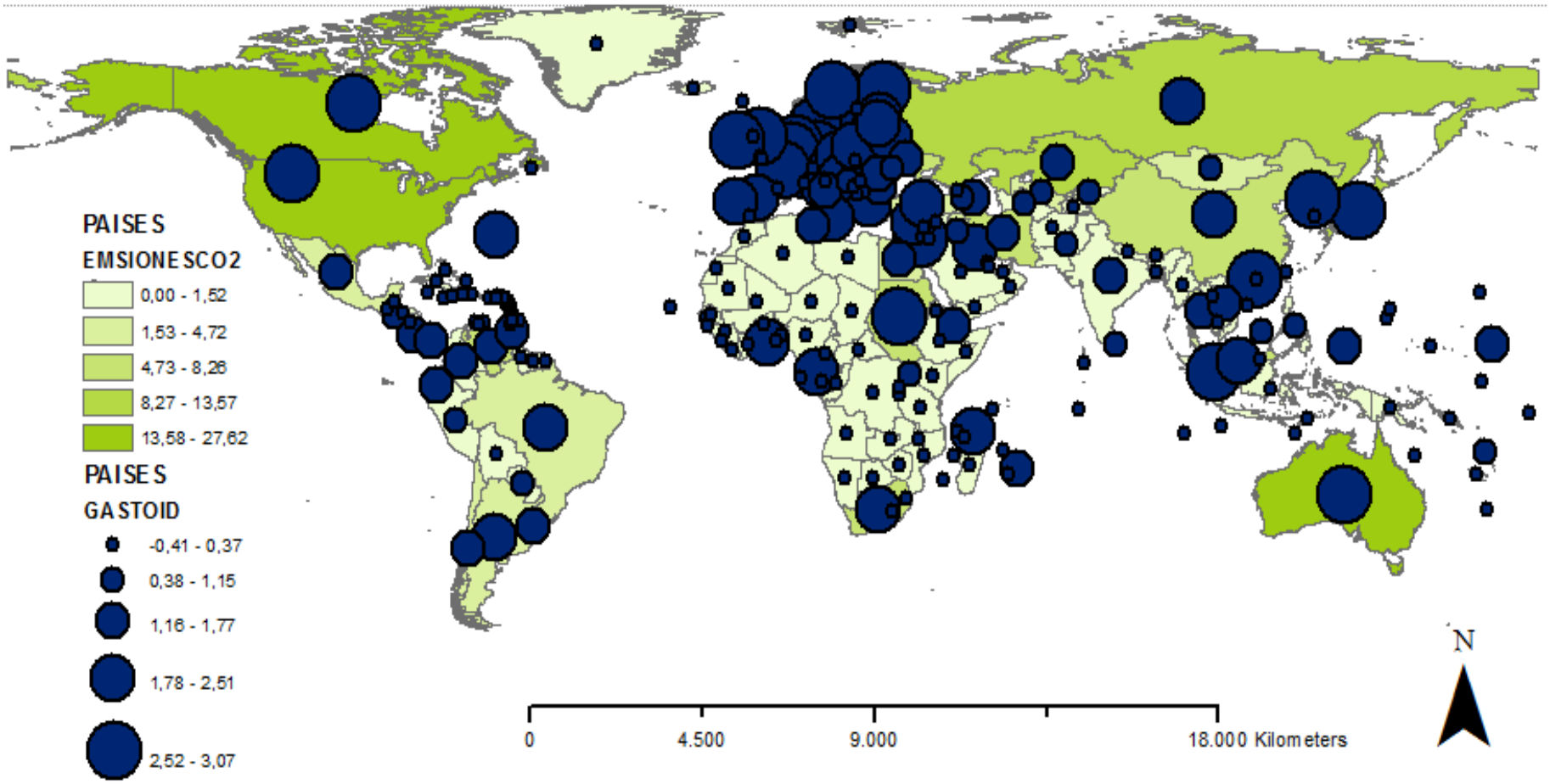

Figura 11. Emisiones de CO2 y gasto en I+D per cápita a nivel mundial.
Fuente: Elaboración propia con datos de la EDGAR (2018) y la UNESCO (2018).

La Figura 11 muestra las emisiones de CO2 y el gasto en I+D per cápita de cada país del mundo. Se puede observar que los países en los cuales las emisiones de CO2 son más altas están representados por un color verde más intenso, mientras que en los países en los cuales las emisiones de CO2 son más bajas, están representados por un color más suave. Asimismo, los círculos más pequeños muestran las cifras más bajas de gasto en I+D y los círculos más grandes un mayor gasto en I+D. En esta figura, también podemos observar que algunos países que emiten una mayor cantidad de emisiones de CO2 per cápita como Canadá, Estados Unidos y Australia, muestran cifras de gasto en I+D más altas. Por otra parte, si se analizan las emisiones de CO2 más bajas, observamos algunas diferencias con respecto a los gastos en I+D. Por ejemplo, en Latinoamérica países como Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, entre otros, las emisiones de CO2 varían entre 0.00 a 152 toneladas métricas per cápita y el gasto en I+D entre 1.16 a 1.77 dólares per cápita. Mientras que, en la mayoría de los países de África, las emisiones de CO2 varían entre 0.00- 1.52 toneladas métricas per cápita y el gasto en I+D entre -0.41- 0.37 dólares per cápita.

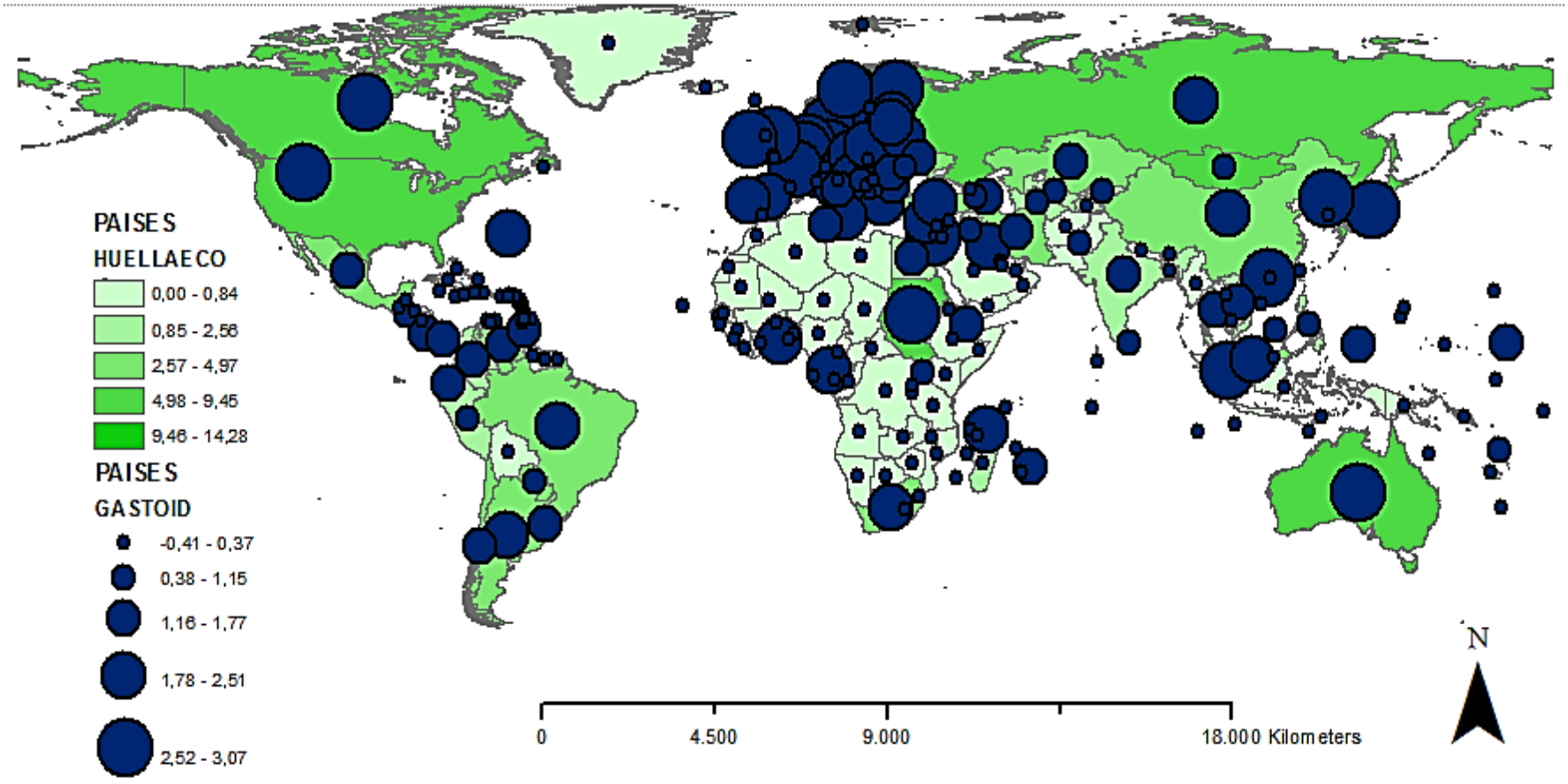

Figura 12. Huella ecológica y gasto en I+D per cápita a nivel mundial
Fuente: Elaboración propia con datos de la Red Global de la Huella (2018) y la UNESCO (2018).

La Figura 12 muestra la huella ecológica y el gasto en I+D per cápita de cada país del mundo. Al igual que en la figura anterior el color más intenso muestra una mayor concentración de huella ecológica, mientras que el color menos intenso muestra una menor cantidad, así mismo, los círculos más pequeños muestran una menor cantidad de gasto en I+D y los más grandes una mayor cantidad. Podemos observar que los cinco países que tienen la mayor cantidad de huella ecológica medida en hectáreas globales per cápita son Canadá, Estados Unidos, Rusia, China, Japón y Australia. Sin embargo, la cantidad de gasto en I+D es diferente en cada país. Los países con menor gasto en I+D per cápita son Rusia y China. Mientras que Estados Unidos y Japón invierten en investigación y desarrollo entre 856.99-1177.78 (2.52-3.07 en log) dólares per cápita. Cabe recalcar que con excepción de China, los países mencionados son países de altos ingresos. Por otro lado, los países que tienen menos déficit ecológico, se encuentra en África y América del Sur, en donde la mayoría de estas economías son de ingresos bajos y medios bajos.

2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Estimar el equilibrio de corto y largo plazo entre las variables del modelo, para 85 países del mundo clasificados por regiones.

Como primer paso, para verificar formalmente la dirección de la correlación entre las variables, después de realizar el test de Hausman (1978) para determinar entre modelos de efectos fijos y aleatorios y corregir los problemas de autocorrelación y heteroscedasticidad del modelo, estimamos un modelo GLS de línea de base. Tal como muestra la Tabla 3, la relación entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D es positiva y estadísticamente significativa tanto a nivel global como en las regiones de Asia oriental y el Pacífico (AO, P); Norteamérica, Europa y Asia Central (N, E, AC); América Latina y el Caribe (AL, C); y, Asia del Sur (AS). Los resultados, además señalan que el gasto en I+D tiene una mayor incidencia en las emisiones de CO2 de Asia oriental y el Pacifico, seguidos de la regiones de Norteamérica, Europa y Asia Central.

Ante un incremento del 1% del gasto en I+D, las emisiones de CO2 se incrementan en un 0.25% en la región de Asia oriental y el Pacifico; y un 0.12% en la región de Norteamérica, Europa y Asia Central. Además podemos observar que los coeficientes a nivel global y en las regiones de AO,P; N,E,AC y AL,C son significativos al 1%, lo cual indica que la relación descrita entre las variables si existe. Por otro lado, el gasto en I+D en los países que pertenecen a la región de África Subsahariana y que se caracterizan principalmente por su bajo crecimiento económico, muestran una mínima relación negativa con las emisiones de CO2.

Tabla 3. Resultados de línea base entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D

	GLOBAL	***AO,P***	***N,E,AC***	***AL,C***	***MO,AN***	***AS***	***ASub***
Log I+D	0.03***	0.25***	0.12***	0.10***	-0.00	0.09	-0.00
	(3.94)	(11.62)	(7.19)	(4.66)	(-0.15)	(1.72)	(-0.04)
Constant	1.25***	0.50***	0.07	0.46***	1.70***	-0.25	-2.20***
	(23.79)	(4.14)	(0.75)	(5.02)	(8.33)	(-1.63)	(-33.14)
Hausman (p-valor)	0.00	0.38	0.00	0.17	0.06	0.04	0.00
Observations	1785	231	903	315	147	63	126

Nota: los valores indican significancia estadística de * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y p< 0,001***.

Al igual que las emisiones de CO2, la relación entre la huella ecológica y el gasto en I+D es positiva y estadísticamente significativa a nivel global y en la mayoría de las regiones analizadas. Únicamente la región de Medio oriente y África del Norte señala una relación negativa y estadísticamente significativa de forma negativa entre las dos variables. Los resultados, también señalan que en la región de Asia oriental y el Pacifico, seguida de las regiones de América Latina y el Caribe, y Norteamérica, Europa y Asia Central, el gasto en I+D tiene una mayor incidencia en la variable de la huella ecológica.

Ante un incremento del 1% del gasto en I+D, la huella ecológica se incrementa en un 0.04% a nivel global y en un 0.16% en la región de Asia oriental y el Pacifico. Mientras que en la región de Medio oriente y África del Norte, cuando el gasto en I+D varía en 1%, la huella ecológica disminuye en 0.11%. En esta relación, también podemos observar que los coeficientes, con excepción de la región de Asia del Sur, son significativos al 1%. La Tabla 4, reporta los resultados.

Tabla 4. Resultados de línea base entre las emisiones la huella ecológica y el gasto en I+D

	GLOBAL	***AO,P***	***N,E,AC***	***AL,C***	***MO,AN***	***AS***	***ASub***
Log I+D	0.04***	0.16***	0.11***	0.13***	-0.11***	0.06	0.07***
	(5.52)	(7.88)	(6.46)	(8.30)	(-4.33)	(1.70)	(5.37)
Constant	1.03***	0.40**	0.24***	0.56***	0.74***	-0.14	0.21***
	(21.09)	(3.34)	(3.53)	(11.37)	(8.51)	(-0.24)	(6.70)
Hausman (p-valor)	0.00	0.70	0.00	0.07	0.00	0.79	0.00
Observations	1785	231	903	315	147	63	126

Nota: los valores indican significancia estadística de * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y p< 0,001***.

Los resultados reportados en la Tabla 3 y 4, primero, reiteran la relación positiva que las dos medidas de degradación ambiental tienen con la variable independiente, previamente evidenciada en las Figuras 9 y 10. Segundo, podrían justificarse porque a diferencia de otros autores como Lee & Min (2015) que usan como variable explicativa al I+D verde que es destinado especialmente a fines medioambientales, esta investigación utiliza al gasto en I + D agregado sin un propósito específico para el medio ambiente.

Segundo, para confirmar la no existencia de raíces unitarias e incorporar mayor robustez al modelo, además del test de raíz unitaria de Dickey y Fuller aumentado

(ADF) (Dickey y Fuller, 1981) y la prueba tipo Fisher basada en el test de Phillips y Perron (PP) (Phillips y Perron, 1988) para datos de panel, realizamos los tests de Levine, Lin y Chu (LL) (2002), Im, Pesaran y Shin (IPS) (2003) y Breitung (UB) (2000). Las cinco pruebas fueron aplicadas sin efectos del tiempo y con efecto del tiempo. La Tabla 5 reporta los resultados del test de raíz unitaria de las emisiones de CO2, la huella ecología y el gasto en I+D. Los cinco test confirman que las primera diferencia de las emisiones de CO2, la primera diferencia de la huella ecológica y la primera diferencia del gasto en I+D, eliminan el problema de la raíz unitaria. Por tanto, las series tienen un orden de integración I (1)

Tabla 5. *Pruebas de raíz unitaria*

Pruebas		*LL*	*UB*	*IPS*	*ADF*	*PP*	*LL*	*UB*	*IPS*	*ADF*	*PP*
		Sin efectos del tiempo					*Con efectos del tiempo*				
GLOBAL	CO2	-24.32**	-6.17**	-25.24**	-5.99**	-31.74**	-24.48**	-5.73**	-26.44**	-5.78**	-31.32**
	He	-46.29**	-4.46**	-37.51**	-9.44**	-39.41**	-39.47**	-4.24**	-36.73**	-10.03**	-40.82**
	I+D	-18.60**	-6.01**	-18.32*	-5.32**	-20.24**	-20.34**	-7.38**	-20.49**	-4.79**	-20.32**
AO,P	CO2	-5.20**	-1.98	-5.79**	-1.28	-9.46**	-5.91**	-2.11**	-7.40**	-2.30*	-9.54**
	He	-9.50**	-2.12*	-10.97**	-3.85*	-14.44**	-12.15**	-2.29*	-13.48**	-3.29*	-15.45**
	I+D	-6.06**	-1.86*	-6.34**	-1.73	-5.67**	-7.42**	-2.27*	-8.01**	-1.72	-7.08**
N,E,AC	CO2	-16.89**	-5.06**	-18.53**	-3.98**	-23.82**	-16.82**	-3.53**	-18.06**	-4.40**	-20.86**
	He	-23.12**	-3.89**	-23.74**	-6.34**	-28.39**	-24.10**	-3.18**	-25.63**	-7.01**	-29.03**
	I+D	-13.08**	-4.01**	-12.28**	-4.01**	-13.86**	-12.44**	-5.19**	-12.70**	-2.23*	-12.42**
AL,C	CO2	-12.82**	-2.04*	-11.77**	-2.85**	-13.23**	-11.00**	-2.02*	-11.27**	-4.56**	-14.89**
	He	-36.70**	-0.96	-23.55**	-3.95**	-17.25**	-23.92**	-0.93*	-19.28**	-4.41**	-17.92**
	I+D	-8.57**	-3.08**	-9.09**	-1.63	-9.10**	-9.54**	-3.05**	-9.14**	-0.96	-9.05**
MO,AN	CO2	-7.46**	-1.16	-7.22**	-1.37	-7.51**	-9.05**	-1.37	-8.41**	-2.36*	-8.76**
	He	-8.62**	-0.32	-9.69**	-2.24*	-9.43**	-4.24**	-0.20	-6.32**	-3.38**	-9.37**
	I+D	-8.57**	-3.08**	-7.15**	-1.63	-9.02**	-9.54**	-3.05**	-7.48**	-0.96	-9.11**
AS	CO2	-5.45**	-1.55	-4.22**	0.87	-5.13**	-6.44**	-2.32*	-5.64**	1.30	-5.10**
	He	-4.04**	-1.73*	-4.72**	-2.49**	-5.11**	-6.60**	-1.16	-5.65**	-0.61	-6.11**
	I+D	-2.36**	-1.81	-2.12*	-0.08	-0.64	-2.09*	-2.42**	-1.78	0.03	-0.50
ASub	CO2	-7.27**	-2.38**	-8.14**	-4.77**	-10.18**	-4.61**	-2.68**	-6.12**	-5.06**	-8.31**
	He	-12.80**	-1.92*	-11.77**	-2.91**	-11.69**	-15.38**	-1.46	-14.70**	-2.65**	-13.76**
	I+D	-3.53**	-0.95	-3.91**	-1.34	-6.77**	-7.20**	-3.46**	-7.00**	-2.14*	-7.19**

Nota: los valores indican significancia estadística de * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y p< 0,001***.

2.1.RELACIÓN DE LARGO PLAZO ENTRE LAS VARIABLES

Después de realizar las pruebas de raíces unitarias, mediante el test de cointegración de Pedroni (1999), estimamos la relación de largo plazo entre las variables del modelo. Los estadísticos de esta prueba son siete: panel-v, panel-rho, grupo-rho, panel-t (no

paramétrico), grupo-t (no paramétrico), panel-adf (t paramétrico) y grupo-adf (t paramétrico). "La prueba emplea cuatro dentro de las estadísticas del panel y tres estadísticas del panel del grupo para probar el nulo de no cointegración frente a la alternativa de cointegración" (Ibhagui, 2019).

La Tabla 6 reporta los resultados del test de cointegración a largo plazo entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D a nivel global y para los 85 países clasificados en seis regiones. El test de cointegración de panel heterogénea de Pedroni (1999) muestra que, entre las series, existe una relación de equilibrio conjunto y simultaneo a nivel global. Con excepción del estadístico v, los valores negativos de los demás estadísticos, rechazan la hipótesis nula de no cointegración. Los estadísticos ADF, PP y p muestran un resultado afín entre ellos: las variables se mueven de forma conjunta y simultánea en el tiempo y en el corte trasversal. Los estadísticos dentro de las dimensiones de los paneles como entre las dimensiones de los paneles son estadísticamente significativos. El mismo resultado ocurre para todas las regiones.

Tabla 6. Resultado del test de cointegración de Pedroni entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D

	GLOBAL	*AO,P*	*N,E,AC*	*AL,C*	*MO,AN*	*AS*	*ASub*
Within dimension test statistics							
Panel v-statistic	-4.20	-1.19	-3.24	-2.20	-1.61	-.74	-1.52
Panel p-statistic	-15.16	-5.62	-9.89	-6.78	-4.68	-3.55	-4.10
Panel PP-statistic	-33.94	-11.59	-22.52	-16.09	-11.56	-6.75	-9.87
Panel ADF statistic	-8.17	-5.33	-4.30	-5.70	-2.01	-4.65	-5.93
Between dimension test statistics							
Panel p-statistic	-9.54	-3.36	-5.68	-4.46	-2.74	-2.38	-2.53
Group PP-statistic	-36.36	-13.04	-23.47	-17.71	-11.75	-6.93	-10.39
Group ADF statistic	-4.42	-2.05	-2.80	-2.86	1.40	-4.40	-5.00

El test de cointegración a largo plazo entre la huella ecológica y el gasto en I+D, también muestra que existe una relación de equilibrio conjunto y simultaneo entre las series tanto a nivel global como en los diferentes grupos de regiones. Con excepción del estadístico v, todos los demás estadísticos muestran un resultado coherente entre ellos: las variables se mueven de forma conjunta y simultánea en el tiempo y en el corte trasversal a largo plazo. La Tabla 7 muestra los resultados.

Tabla 7. Resultados del test de cointegración de Pedroni entre la huella ecológica y el gasto en I+D

	GLOBAL	*AO,P*	*N,E,AC*	*AL,C*	*MO,AN*	*AS*	*ASub*
Within dimension test statistics							
Panel v-statistic	-5.00	-1.57	-3.14	-1.38	-1.36	-.83	-1.71
Panel p-statistic	-17.53	-7.24	-12.49	-6.59	-4.00	-3.20	-6.76
Panel PP-statistic	-44.67	-17.36	-30.86	-16.99	-9.38	-7.47	-15.93
Panel ADF statistic	-7.32	-7.93	-2.31	-2.42	-3.67	-1.04	-6.22
Between dimension test statistics							
Panel p-statistic	-11.68	-4.95	-8.34	-4.54	-2.41	-2.21	-4.61
Group PP-statistic	-50.32	-19.13	-34.88	-18.74	-10.38	-7.78	-18.02
Group ADF statistic	-3.29	-5.55	1.31	-.12	-2.75	.88	-2.51

A partir de la regresión propuesta por Pedroni (2001), estimamos la fuerza del vector de cointegración por regiones a largo plazo. Los resultados de la Tabla 8, muestran las estimaciones de la prueba PDOLS con y sin efectos de la variable dummy del tiempo. El gasto en I+D afecta negativamente a las emisiones de CO2 en las regiones de Asia Oriental y el Pacifico, Medio Oriente y África del Norte; y África Subsahariana sin efectos de la variable dummy del tiempo, siendo estos valores estadísticamente significativos. Mientras que a nivel global y en las demás regiones analizadas, el efecto es positivo y significativo con excepción de la región de AL, C en la cual no hay ningún efecto. Asimismo, con la excepción de la región de AO, P y Asub, el efecto positivo de la variable independiente se mantiene al incluir la variable dummy del tiempo. Con estos resultados, también podemos evidenciar que con y sin incluir la variable dummy del tiempo, los estimadores tanto a nivel global como en las regiones no son cercanos a 1, con lo cual se puede concluir que la fuerza del vector de cointegración no es contundente, dado que no se acepta la hipótesis nula de una relación fuerte que va desde el gasto en innovación y desarrollo a las emisiones de CO2.

Por otra parte, al incluir la variable dummy del tiempo, el gasto en I+D afecta negativamente a la huella ecológica a nivel global y en las regiones de AO, P; N, E, AC y AL, C. La fuerza del vector de cointegración es estadísticamente significativo de forma negativa en la región de AO, P y N, E, AC. Sin incluir la variable dummy, el efecto del gasto en I+D es positivo a nivel global y en las regiones de N, E, AC y AL, C. La fuerza del vector de cointegración no es contundente ni a nivel global, ni en ninguna región.

Las diferencias que surgen entre las dos medidas de degradación ambiental, primero, pueden explicarse debido a que en los últimos años, según Scherer et al. (2018), las huellas de carbono muestran un aumento más bajo, 0,8% en promedio (0,21 Gt de CO2 equivalentes a nivel mundial), mientras que las huellas de agua y tierra aumentan en un 1,4 y 2,1% (420,000 km2 equivalentes y 10 mil millones de m3 equivalentes). Estos aumentos son mayores que el aumento en el gasto promedio en 0.3%. Segundo, al igual que las emisiones de CO2, los niveles de la huella ecológica y la biocapacidad varían ampliamente con el tiempo y entre las regiones y los países de acuerdo a su nivel de desarrollo alcanzado (Wackernagel, Lin, Hanscom, Galli & Iha, 2019).

Tabla 8. Resultados de prueba de panel PDOLS por grupos de países

Grupos	*Con dummy del tiempo*				*Sin dummy del tiempo*			
	Emisiones de CO2		*Huella ecológica*		*Emisiones de CO2*		*Huella ecológica*	
	PDOLS	*t-statistics*	*PDOLS*	*t-statistics*	*PDOLS*	*t-statistics*	*PDOLS*	*t-statistics*
GLOBAL	.04*	2.82	-.06	-1.78	.15*	8.52	.03*	2.17
AO,P	-.03*	2.22	-.36*	-4.43	-.15*	3.73	-.32*	-4.73
N,E,AC	.08*	2.89	-.13*	-2.27	.37*	6.66	.19*	4.65
AL,C	.03*	2.21	-.12	-.24	-.00*	2.13	.05	.61
MO,AN	.54	1.10	.13	-.13	-.17*	4.24	-.27	.53
AS	.23*	5.20	.12*	4.19	.17*	2.91	-.00	.41
Asub	-.26	-1.65	-.00	-1.34	-.04	-.84	-.02	.28

Asimismo, a partir de la regresión propuesta por Pedroni (2001), estimamos la fuerza del vector de cointegración para los grupos de países de forma individual con efectos fijos del tiempo. La Tabla 9 muestra los resultados del modelo DOLS entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D para las seis regiones analizadas. La fuerza del vector es débil y por tanto no contundente en la mayoría de los países de las diferentes regiones. Podemos evidenciar que particularmente algunos países como Japón, Korea, Singapore, Ireland, Sweden, Switzerland conocidos a nivel internacional como unos de los países que más esfuerzos están adoptando en los últimos años para disminuir las cargas ambientales; y que además, se encuentran entre los 20 primeros países que más porcentaje de su PIB invierten en investigación y desarrollo según la UNESCO (2016), muestran una relación negativa entre las dos variables. En general, estos resultados también sugieren que de acuerdo a la estructura productiva de los países, los incrementos del gasto en I+D, tienen a tener un efecto positivo o negativo en las emisiones de CO2.

Por otra parte, la fuerza del vector de cointegración tampoco es contundente a largo plazo entre el gasto en I+D y la huella ecológica en la mayoría de los países (Tabla 10). Sin embargo, la relación que el gasto en I+D tiene con esta segunda medida de degradación ambiental, cambia en algunos países como China, Austria, Canadá, Estados Unidos, México, Chile, entre otros. Al ser medida la degradación ambiental por la huella ecológica, el gasto en I+D agregado ayuda a disminuir las cargas ambientales y ayuda a promover el crecimiento sostenido de estos países. Así también, podemos evidenciar que en la región de Asia del Sur, la relación que los países tienen con las variables, no cambia de una medida de degradación ambiental a otra, a diferencia de los países de otras regiones. Estos resultados, son parcialmente coherentes con el hecho de que en la mayoría de los países, los esfuerzos innovadores son insuficientes para hacer frente a las críticas cargas ambientales que los diferentes sectores producen, y que por tanto, se necesitan más inversiones políticas e innovación ambiental, tal como lo señala Marin & Mazzanti (2013) para el caso de la economía Italiana.

En este escenario, cabe mencionar que al igual que los países desarrollados, muchos de los países en vías de desarrollo se encuentran entre los más afectados por la degradación ambiental. No obstante, los países subdesarrollados son los que más desafíos tienen, puesto que suelen depender estrechamente del entorno natural y tienen menos recursos para hacer frente a los cambios climáticos.

Tabla 9. Resultados de prueba de panel DOLS para los países de forma individual entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D

AO,P		***N,E,AC***		***AL,C***		***MO,AN***		***AS***		***ASub***	
Australia	.15*	Armenia	.03	Argentina	.01	Egypt,Rep.	.05	India	.49	Burkina Faso	-.23*
China	.74	Austria	.77	Brasil	.63*	Irán, Rep.	.10	Pakistán	.12	Congo, Rep.	-1.14
Japón	-.85	Azerbaijan	-.45	Chile	.37	Iraq	4.19	Sri Lanka	.08	Madagascar	.00
Korea, Rep.	-51	Belarus	.37	Colombia	.01	Israel	-.39*			Mauritius	-.07
Malaysia	-.22	Belgium	-.22	Costa Rica	-.19	Kuwait	-.08			South África	-.26
Mongolia	-.34	Bermuda	-.22	Ecuador	-.05	Malta	.37			Uganda	.10
New Zealand	.08	Bosnia and Herzegovina	-.03	El Salvador	.43*	Tunisia	-.44				
Philippines	.80	Bulgaria	.19	Guatemala	-.47						
Singapore	-.49	Canadá	.53*	México	.60						
Thailand	.04	Croatia	.46	Panamá	.03						
Vietnam	.19	Cyprus	.59*	Paraguay	-.15						
		Czech Republic	.25	Perú	-.61*						
		Denmark	-.21	Trinidad and Tobago	.11						
		Estonia	.56	Uruguay	.41						
		Finland	.44	Venezuela, RB	-.56						
		France	-.31								
		Germany	.60*								
		Greece	.48*								
		Hungary	-.22								
		Ireland	-1.18								
		Italy	-.24								
		Kazakhstan	.02								
		Kyrgyz Republic	-1.82*								
		Latvia	.01								
		Lithuania	-.21								
		Luxembourg	1.33*								
		Moldova	.27*								

Netherlands	-.08
Norway	.22
Poland	.08
Portugal	-.23
Romania	-.09
Russian Federation	-.25
Slovenia	-.44
Spain	.59
Sweden	-.38
Switzerland	-.42
Tajikistan	.81
Turkey	.73
Ukraine	.30*
United Kingdom	.20
United States	.67*
Uzbekistan	.15

Tabla 10. Resultados de prueba de panel DOLS para los países de forma individual entre la huella ecológica y el gasto en I+D

AO,P		***N,E,AC***		***AL,C***		***MO,AN***		***AS***		***ASub***	
Australia	.39*	Armenia	-.27	Argentina	-.08	Egypt,Rep.	.32*	India	.13	Burkina Faso	-.05
China	-.06	Austria	-1.34*	Brasil	.13	Irán, Rep.	-.13	Pakistán	.13	Congo, Rep.	-.08
Japón	-.52	Azerbaijan	-.28	Chile	-.52	Iraq	3.28*	Sri Lanka	.10	Madagascar	-.04
Korea, Rep.	-62	Belarus	.09	Colombia	-.05	Israel	-1.75*			Mauritius	.08
Malaysia	-1.42	Belgium	-.03	Costa Rica	.04	Kuwait	-.45			South África	.18
Mongolia	-1.33	Bermuda	-.20	Ecuador	-.20	Malta	-.19			Uganda	-.12
New Zealand	-0.86	Bosnia and Herzegovina	.01	El Salvador	.31*	Tunisia	-.12				
Philippines	-.16	Bulgaria	-.67	Guatemala	-.13						
Singapore	.56	Canadá	-.08	México	-.70						
Thailand	.08	Croatia	.14	Panamá	.29						
Vietnam	-.06	Cyprus	1.04*	Paraguay	.27						
		Czech Republic	-.73	Perú	-.09						
		Denmark	-.20	Trinidad and Tobago	-.14						
		Estonia	-3.70*	Uruguay	-.90						
		Finland	.29	Venezuela, RB	-.05						
		France	-.49*								
		Germany	.42								
		Greece	.60*								
		Hungary	.82								
		Ireland	.14								
		Italy	-.60								
		Kazakhstan	-.05								
		Kyrgyz Republic	-1.01*								
		Latvia	-.04								
		Lithuania	-.10								
		Luxembourg	-1.49*								
		Moldova	-.38*								

Netherlands	.01
Norway	.82
Poland	.17
Portugal	-.20
Romania	-.25
Russian Federation	-.50*
Slovenia	-.31
Spain	.50
Sweden	.08
Switzerland	-.12
Tajikistan	.26
Turkey	.43
Ukraine	.25
United Kingdom	1.00
United States	-.37
Uzbekistan	.11

2.2.RELACIÓN DE CORTO PLAZO ENTRE LAS VARIABLES

Después de estimar la relación de largo plazo entre las variables, estimamos la relación de corto plazo entre las mismas. Para este fin, utilizamos un modelo de corrección de error vectorial (VECM) para datos de panel planteado por Westerlund (2007). Este test, se basa en que las series son no estacionarias, determinando "la existencia de errores vectoriales para cada país o para el grupo de países" (Persyn & Westerlund, 2008). De los 4 test propuestos por Westerlund, Pτ, y Pα son estadísticos de Panel; y, Gτ y Gα son estadísticos de media de grupo que permiten contrastar si al menos alguno de los grupos presenta cointegración. Con un p valor < 0,05 se rechaza la hipótesis nula de no cointegración.

Los resultados encontrados en la Tabla 11, señalan que en promedio, existe un equilibrio en el corto plazo entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D, y entre la huella ecológica y el gasto en I+D a nivel global y en todas las regiones analizadas, dado que, los estadísticos son significativos y rechazan la hipótesis nula de no cointegración. Esto implica que un cambio en los niveles de investigación y desarrollo genera cambios inmediatos en la degradación ambiental de los países considerados para cada región.

Tabla 11. Resultados del modelo de corrección de error VECM de Westerlund

		Log Emisiones de CO2			*Log Huella ecológica*		
	Estadístico	*Valor*	*Z-value*	*P-value*	*Valor*	*Z-value*	*P-value*
GLOBAL	Gt	-4.32	-22.55	0.00	-4.87	-28.86	0.00
	Ga	-26.36	-20.05	0.00	-29.32	-24.15	0.00
	Pt	-39.44	-23.26	0.00	-43.15	-27.57	0.00
	Pa	-26.66	-27.33	0.00	-30.29	-32.94	0.00
AO,P	Gt	-3.46	-4.57	0.00	-4.54	-9.05	0.00
	Ga	-19.02	-3.55	0.00	-33.93	-10.98	0.00
	Pt	-9.21	-2.57	0.00	-13.37	-7.41	0.00
	Pa	-16.58	-4.23	0.00	-31.62	-12.58	0.00
N,E,AC	Gt	-4.66	-18.87	0.00	-4.84	-20.33	0.00
	Ga	-28.39	-16.26	0.00	-27.73	-15.60	0.00
	Pt	-29.00	-17.64	0.00	-30.17	-19.01	0.00
	Pa	-26.96	-19.76	0.00	-28.61	-21.58	0.00
AL,C	Gt	-4.36	-9.68	0.00	-4.95	-12.51	0.00
	Ga	-25.31	-7.81	0.00	-26.51	-8.50	0.00
	Pt	-16.40	-9.57	0.00	-17.61	-10.98	0.00
	Pa	-25.87	-10.97	0.00	-30.00	-13.64	0.00
MO, AN	Gt	-3.89	-5.06	0.00	-5.09	-9.00	0.00
	Ga	-21.33	-3.75	0.00	-32.50	-8.19	0.00

	Pt	-11.10	-6.41	0.00	-16.46	-12.66	0.00
	Pa	-27.41	-8.17	0.00	-34.47	-11.30	0.00
	Gt	-3.50	-2.48	0.00	-4.74	-5.15	0.00
AS	Ga	-24.57	-3.30	0.00	-32.28	-5.30	0.00
	Pt	-5.86	-2.56	0.00	-9.39	-6.67	0.00
	Pa	-23.13	-4.11	0.00	-36.39	-7.95	0.00
ASub	Gt	-4.19	-5.61	0.00	-5.22	-8.76	0.00
	Ga	-34.69	-8.39	0.00	-34.16	-8.20	0.00
	Pt	-12.83	-8.92	0.00	-11.18	-7.00	0.00
	Pa	-37.13	-11.55	0.00	-39.54	-12.54	0.00

3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3

Estimar la causalidad entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica, para 85 países del mundo clasificados por regiones.

Para dar cumplimiento al objetivo 3, estimamos del test de causalidad de Granger para datos en panel propuesta por Dumitrescu y Hurlin (2012). Como ya se mencionó anteriormente, la relación de causalidad puede ser unidireccional, cuando una variable afecta únicamente a otra; y bidireccional cuando las dos variables se afectan mutuamente. La tabla 12, reporta los resultados de esta prueba:

Tabla 12. Resultados de las pruebas de causalidad de Granger basadas en Dumitrescu y Hurlin

Dirección causal	Grupo	W-bar	Z-bar	p value
	GLOBAL	1.52	3.43	0.00
	AO,P	3.95	6.91	0.00
$\text{Log CO2} \rightarrow \text{Log I} + \text{D}$	N,E,AC	1.20	0.93	0.35
	AL,C	1.14	0.40	0.68
	MO,AN	0.90	-0.17	0.86
	AS	1.29	0.36	0.71
	ASub	1.20	0.34	0.72
	GLOBAL	1.52	3.39	0.00
	AO,P	3.32	5.44	0.00
$\text{Log CO2} \leftarrow \text{Log I} + \text{D}$	N,E,AC	1.27	1.27	0.20
	AL,C	1.13	0.35	0.71
	MO,AN	1.52	0.98	0.32
	AS	0.19	-0.98	0.32
	ASub	1.59	1.03	0.30
	GLOBAL	1.63	4.12	0.00
	AO,P	2.15	2.69	0.00
$\text{Log He} \rightarrow \text{Log I} + \text{D}$	N,E,AC	1.40	1.87	0.06
	AL,C	1.40	1.11	0.26

	MO,AN	2.14	2.14	0.03
	AS	2.20	1.47	0.13
	ASub	1.99	1.73	0.08
Log He ← Log I + D	GLOBAL	1.44	2.89	0.00
	AO,P	1.69	1.61	0.10
	N,E,AC	1.79	3.68	0.00
	AL,C	1.14	0.39	0.69
	MO,AN	0.88	-0.21	0.82
	AS	1.06	0.07	0.94
	ASub	0.08	-1.58	0.11

La Tabla 12 reporta la existencia de causalidad bidireccional entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D, y entre la huella ecológica y el gasto en I+D a nivel GLOBAL (CO2 ↔ I+D; He ↔ I+D). Con esto, los cambios producidos en el gasto en investigación y desarrollo permiten predecir los cambios en las emisiones de CO2 y la huella ecológica; o los cambios producidos en las emisiones de CO2 y la huella ecológica, se deben a los cambios producidos en el gasto en investigación y desarrollo. Esto se explica principalmente porque el gasto en investigación y desarrollo mejora los procesos de fabricación y elaboración de productos mismos que son amigables con el medio ambiente.

Por otro lado, en la región de Asia Oriental y el Pacifico, existe una causalidad bidireccional entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D (CO2 ↔ I+D), y una relación causal unidireccional que va desde la huella ecológica al gasto en I+D (He→ I+D). En la región de Medio oriente, encontramos una relación causal unidireccional que va desde la huella ecológica al gasto en I+D (He →I+D).

Finalmente, encontramos que existe una causalidad unidireccional desde el gasto en I+D hacia la huella ecológica en la región de Norteamérica, Europa y Asia Central (I+D→He). Mientras que no encontramos evidencia sobre causalidad en ninguna dirección en las demás regiones analizadas. Por tanto, en estas regiones, los cambios producidos en el gasto en investigación y desarrollo no permiten predecir los cambios que se produzcan en la degradación ambiental medida por las emisiones de CO2 y la huella ecológica o viceversa. Esto debido a que los gastos en investigación y desarrollo varían

g. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1

Analizar la evolución y la correlación entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica durante el periodo 1996-2016.

Los resultados respecto a este objetivo, muestran que a nivel global y en todas las regiones analizadas, con excepción de N, E, AC, existe una evolución ascendente de la tasa de crecimiento de las emisiones de CO2 a lo largo del periodo 1996-2016. Durante este periodo, también podemos evidenciar que las emisiones de CO2 per cápita disminuyeron del año 2008 al año 2009, lo cual se explica en gran medida por el efecto que la crisis económica tuvo principalmente sobre el consumo del petróleo en el año 2008, uno de los principales combustibles fósiles utilizados para la generación de energía no renovable, considerada por autores como Cherni & Jounini (2017), la principal causa del aumento de las emisiones de CO2.

El comportamiento ascendente de las dos mediadas de degradación ambiental usadas, es similar en todas las regiones, con excepción de Norteamérica, Europa y Asia Central. En esta región, en promedio las emisiones de CO2 y la huella ecológica, han disminuido en pequeñas proporciones durante los últimos seis años de análisis. Estos hallazgos son consistentes con el estudio realizado por Mikayilov, Hasanov & Galeotti (2018) para los países de Europa Occidental, en el cual sostienen, al igual que Figueres et al (2017) que "en los últimos años, las emisiones globales de dióxido de carbono provenientes de la quema de combustibles fósiles se han nivelado después de aumentar durante décadas" (citado en Mikayilov, Hasanov, & Galeotti, 2018), lo cual es una señal de que las políticas y las inversiones en mitigación del clima están dando frutos en esta región y que se están cumpliendo los compromisos individuales dentro del acuerdo de París (Mikayilov, Hasanov & Galeotti, 2018).

En cuanto a la correlación de las variables, en todos los paneles podemos observar una correlación positiva entre las dos medidas de degradación ambiental y el gasto en I+D tanto a nivel global como en cada una de las regiones, con excepción de la región de Asia del Sur, cuya relación del gasto en I+D con la variable huella ecológica es

débilmente negativa. Los resultados de este objetivo indican que contrariamente a la percepción general de que el gasto en I+D ayuda a reducir la degradación ambiental, este tiene un efecto positivo sobre el mismo. Este resultado, podría explicarse debido a que la relación del gasto en I+D con la degradación ambiental, puede ser similar a la relación que tiene el crecimiento económico con los problemas ambientales a medida que los países se embarcan en la transición hacia una economía sostenible. Y así, como cuando las emisiones crecen menos rápidamente que el crecimiento económico, se produce un desacoplamiento relativo, y cuando, las emisiones declinan mientras la economía crece, se produce un desacoplamiento absoluto (Mikayilov, Hasanov & Galeotti, 2018). El gasto en I+D, puede seguir esta tendencia y mostrar un patrón asociado a la hipótesis EKC (una relación no lineal con la degradación ambiental).

Sin embargo, es importante mencionar que aunque los países por su ubicación geográfica comparten varias características en común, los resultados pueden ocultar fuertes cambios y diferencias por las condiciones específicas a nivel de país y del grado relativo de desarrollo alcanzado por este. Además de que en algunos países las emisiones de CO2 han sido mayores en algunos intervalos de tiempo y los determinantes a nivel de país juegan un papel complementario. Primero, a medida que los países alcanzan mayores niveles de desarrollo, crean condiciones para que los procesos de producción y legislación ambiental sean regularizados (Banerjee & Gupta, 2017). Segundo, las empresas que operan en países con una mejor protección de los derechos de propiedad intelectual y la infraestructura general se benefician más de las prácticas respetuosas con el medio ambiente y la intensidad de la I + D (Banerjee & Gupta, 2017).

2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Estimar el equilibrio de corto y largo plazo entre las variables del modelo, para 85 países del mundo clasificados por regiones.

Los resultados de los cinco test de raíz unitaria con un nivel de significancia estadística del 5%, confirman que las tres variables analizadas tienen un orden de integración I (1), lo cual, puede contribuir a evitar el problema de regresiones espurias. Los resultados de la prueba de cointegración de panel heterogénea de Pedroni (1999)

muestra que entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D, y entre la huella ecológica y el gasto en I+D, existe una relación de equilibrio a largo plazo a nivel global y en todas las regiones, dado que los resultados son estadísticamente significativos y rechazan la hipótesis nula de no cointegración. Por otra parte, los resultados de la prueba PDOLS señalan que sin efectos de la variable dummy del tiempo, el efecto del gasto en I+D en las emisiones de CO2 a nivel global y en las regiones de N, E, AC; AL, C y AS es positivo y estadístico significativo. Asimismo, con excepción de la región de AO, P y ASub, el efecto positivo de la variable independiente se mantiene al incluir la variable dummy del tiempo. Estos resultados coinciden parcialmente con las estimaciones de línea base, dado que estas con excepción de la región de MO, AN y Asub, muestran una relación positiva para todas las series. En esta parte, es preciso recalcar que no encontramos estudios sobre cointegración y corrección de error de las variables del modelo, sin embargo, hacemos una comparación con otros estudios en donde los resultados se analizan considerando las variables de interés.

En este sentido, Fernández, López & Blanco (2018), mencionaban que las mejoras de eficiencia resultantes de la innovación y el desarrollo tecnológico no siempre resultan en un menor consumo de recursos y energía, sino que por el contrario, pueden llevar a un aumento significativo de los mismos. Por consiguiente, este efecto justificaría la relación positiva de la variable independiente con las dependientes. Sin embargo, también hay que considerar que los efectos de la innovación no son unidireccionales ni directos (Fernández, López & Blanco 2018), y que por tanto, al menos de que los gastos en I+D sean destinados directamente a promover una economía verde, el gasto en I+D agregado no necesariamente disminuirá la degradación ambiental como se argumentaba con la evidencia empírica. Esta evidencia es consistente con los trabajos de Gu & Wang (2018) y Lee & Min (2015), que analizan particularmete la I + D de ahorro de energía con las emisiones de efecto invernadero y a diferencia de nuestro trabajo, encuentran una relación negativa entre las variables.

Al incluir la variable dummy del tiempo, el gasto en I+D afecta negativamente a la huella ecológica a nivel global y en las regiones de AO, P; N, E, AC; AL, C y Asub. Estos resultados, tampoco coinciden con las estimaciones de línea base, dado que estas muestran una relación positiva para todas las series, con excepción de la región de MO,

AN. Sin embargo, la evidencia de una relación negativa entre la huella ecológica y el gasto en I+D en la región de Asia Oriental y el Pacifico; Norteamérica, Europa y Asia Central y la región de Medio Oriente y África del Norte, respalda la hipótesis central de esta investigación y concuerdan con los trabajos de Amir (1995) y Azqueta et al., 2007, en los cuales argumentan que el progreso tecnológico permite a la sociedad experimentar futuros de desarrollo sostenible por tener mayores y mejores consecuencias, consumir menos energía y ser un menor contaminador.

Particularmente, los resultados del efecto negativo que tiene el gasto en I+D con la segunda medida de degradación ambiental (huella ecológica) en la región de Norteamérica, Europa y Asia Central, son parcialmente acordes al trabajo de Fernández, López & Blanco (2018) en el que encuentran que el gasto agregado en I + D contribuye positivamente a la reducción de las emisiones de CO2 en la UE-15 y los Estados Unidos y que por lo tanto el gasto agregado en innovación es favorable en la lucha contra el cambio climático.

Por otro lado, los resultados del modelo DOLS muestran que la fuerza del vector de cointegración individual entre el gasto en I+D y las dos medidas de degradación ambiental, es débil y por tanto no contundente en la mayoría de los países de las distintas regiones. No obstante, un gran número de países muestran una relación negativa entre las variables del modelo. Esto sugiere que de acuerdo a la estructura productiva de los países, los incrementos del gasto en I+D tienen a tener un efecto positivo o negativo en las emisiones de CO2 y la huella ecológica. Los resultados de esta prueba concuerdan parcialmente con el trabajo de Jiao, Yang & Bai (2018), en el cual mencionan que el impacto indirecto de los efectos indirectos de la tecnología de I + D o la intensidad de los efectos indirectos a través de la intensidad de I + D reducen las emisiones de carbono. Así también, los resultados son consistentes con el estudio de Ercolano & Romano (2017) en el cual a nivel europeo, rechazan la existencia de un modelo homogéneo de gasto público para la protección del medio ambiente y señalan que un mayor nivel de desempeño ambiental parece estar correlacionado positivamente con los gastos públicos en el dominio ambiental y, en parte, con la diferente composición de los gastos.

Dada la evidencia empírica y debido a que en la mayoría de los países con un importante nivel de desarrollo, la dirección del vector de cointegración es inversa principalmente en las estimaciones del gasto en I+D con la huella ecológica (Tabla 9), considerada como una medida fuerte de sostenibilidad. También podemos aceptar como lo menciona Auci & Trovato (2018) que los efectos directos del gasto en I + D reducen la contaminación, mientras que "el efecto indirecto del gasto en I + D es mixto: la I + D privada refuerza la reducción de las emisiones, mientras que el gasto público en I + D aumenta las emisiones" (Auci & Trovato, 2018). Por tanto, en base a los resultados presentados, podemos proponer políticas direccionadas a un menor uso de recursos no renovables para ahorrar recursos para el futuro y disminuir la contaminación ambiental o impulsar la utilización de fuentes renovables de energía, dado que la reducción de estas contribuye a la disminución de las emisiones de CO2 y tienen un efecto positivo en el crecimiento económico a largo plazo, tal como lo menciona Ito (2017) en su investigación. Sin embargo, la política óptima de reducción de contaminación ambiental, depende en gran medida del conjunto de instrumentos de política disponibles en cada país (Gerlagh, Kverndokk & Rosendahl, 2009).

Finalmente, las pruebas de cointegración de corto plazo para datos de panel planteado por Westerlund (2007), indican que durante el periodo 1996-2016, existe una relación de corto plazo entre las dos medidas de degradación ambiental utilizadas y el gasto en I+D a nivel global y en todas las regiones analizadas. Con esto, los resultados de este objetivo indican que las variables estudiadas comparten características comunes en el tiempo tanto a corto como a largo plazo. Por tanto, las implicaciones de política derivadas de esta investigación están direccionadas a fomentar mayores gastos en investigación y desarrollo en todos los sectores a fin de reducir las cargas ambientales.

En este marco, O'Connor (2001) señala que es preciso reconocer que en el interior de la Economía hay un corte significativo en cuanto a la forma de entender las cuestiones relacionadas a la degradación del medio ambiente. De un lado, hay una línea ortodoxa, que atribuye la causa de los principales problemas ambientales a la ausencia de determinados incentivos de mercado; y por otro, existe una corriente que procura tratar la temática ambiental en términos alternativos. Esa línea se distingue por la defensa de la producción y del consumo conscientes, basados en una nueva ética generalizada que

estaría directamente enfocada hacia las prácticas individuales (O'Connor, 2001). En este sentido, Hale (1995) argumenta que se necesita fortalecer las capacidades nacionales, particularmente en educación y capacitación científica, lo cual permitirá a los gobiernos, empleadores y trabajadores alcanzar sus objetivos medioambientales y de desarrollo, facilitando la transferencia y la asimilación de nuevas tecnologías y conocimientos apropiados desde el punto de vista ambiental y socialmente aceptables y con ello alcanzar el crecimiento económico sostenido a largo plazo.

3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3

Estimar la causalidad entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica, para 85 países del mundo clasificados por regiones.

Los resultados de este objetivo muestran que existe una causalidad bidireccional entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D, y entre la huella ecológica y el gasto en I+D a nivel GLOBAL (CO2 ↔ I+D; He ↔ I+D). En la región de Asia Oriental y el Pacifico, existe una causalidad bidireccional entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D (CO2 ↔ I+D), y una relación causal unidireccional que va desde la huella ecológica al gasto en I+D (He→ I+D). En la región de Medio oriente, encontramos una relación causal unidireccional que va desde la huella ecológica al gasto en I+D (He →I+D). Así también, existe una causalidad unidireccional desde el gasto en I+D hacia la huella ecológica en la región de Norteamérica, Europa y Asia Central (I+D→He). Mientras que no encontramos evidencia sobre causalidad en ninguna dirección en las demás regiones analizadas.

Por un lado, la ausencia de causalidad en ninguna dirección en todas las regiones, podría explicarse, porque si bien un gran porcentaje de evidencia empírica señala al sector energético como el principal causante de las emisiones de CO2 (Iwata, Okada & Samreth, 2010; Cherni & Jounini, 2017, entre otros). Este no tiene la misma importancia en los países industrializados, que en los países que pertenecen a regiones que se caracterizan principalmente por su bajo desempeño económico. Por ejemplo, las emisiones de CO2 del sector energético de la OCDE alcanzan al 80% del total de sus emisiones, mientras que en América Latina esta participación apenas llega al 31% (López, 2008). De hecho, otras investigaciones como la de Scherer et al., (2018),

señalan que el sector alimentario domina las huellas de todos los grupos de ingresos, dado que a nivel mundial, comprende el 28% de la huella de carbono de los hogares, mientras que el uso de energía ocupa el segundo lugar con el 19% (especialmente la electricidad del carbón).

En este contexto, las principales fuentes de degradación ambiental en los países en desarrollo, provienen de otras fuentes de contaminación, principalmente de la deforestación de ecosistemas amenazados y del avance de la agricultura con procesos nocivos que debilitan el ecosistema y disminuyen sus servicios de protección, haciendo que los suelos se vuelven vulnerables a choques ambientales (Brausmann & Bretschger, 2018). Ante lo mencionado, es razonable considerar que si el gasto en I+D se destina principalmente al sector energético como tal, este no dará los mismos frutos en todas las regiones, dada su nivel de participación.

No obstante, los resultados son consistentes con el estudio de Gu & Wang (2018), en el que señala que de continuar con las mismas tendencias de crecimiento en I + D, la mayoría de los principales emisores de carbono no pueden alcanzar sus objetivos ambientales al menos que las tasas de inversión en I + D de los países aumenten a niveles radicalmente altos. Por esta razón, tal como lo señala Bosetti, Carraro, Duval & Tavoni (2011), es poco probable que las políticas de innovación por sí mismas estabilicen la concentración y la temperatura globales sobre todo, cuando no se consideran acuerdos de política de innovación global más óptimos. Los resultados de esta investigación, asimismo, concuerdan parcialmente con el trabajo de Venselaar (1995) en el que argumenta que los problemas ambientales y sus soluciones no están basados puramente en la tecnología, sino que las medidas de mejora requieren cambios en la organización y las actitudes de las personas. Y, finalmente, con el trabajo de Moghaddam, Nazari & Soufizadeh (2018), en el que sostienen que abordar el desarrollo sostenible necesita múltiples herramientas e integrar conjuntos de indicadores ecológicos, sociales y económicos en la planificación del desarrollo.

En este marco, junto a todo lo antes mencionado, también es preciso considerar que muchos de los problemas ambientales y la inercia del sistema climático llevan a que cualquier medida que se adopte en un momento determinado, tarde muchos años en

traducirse en algún tipo de cambio. Y, si a esto se suma que los procesos innovadores y los objetivos propuestos por los organismos son más bien modestos y están lejos de ser alcanzados, los esfuerzos globales en cuanto a disminuir las cargas ambientales a través de la promoción del objetivo 9 de los ODS, necesitan ser fortalecidos para conseguir un mayor crecimiento y desarrollo sostenible global.

h. CONCLUSIONES

A partir de los resultados que tienen por objetivo general examinar la relación de corto y largo plazo que existe entre el gasto en I+D y la degradación ambiental, medida por las emisiones de CO2 y la huella ecológica a nivel mundial y por regiones durante el periodo 1996-2016, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- Primero, con respecto a la evolución y correlación de las variables durante el periodo 1996-2016, la tasa de crecimiento de las dos medidas de degradación ambiental usadas es similar en todas las regiones, con excepción de Norteamérica, Europa y Asia Central. En esta región, en promedio las emisiones de CO2 y la huella ecológica han disminuido en pequeñas proporciones durante los últimos años, lo cual refleja, que las políticas ambientales impulsadas por los países que conforman esta región (Anexo 1), están encaminados correctamente a alcanzar el objetivo planteado por los mismos: lograr un crecimiento económico sostenido en el largo plazo. Por otra parte, contrariamente a la percepción general de que el gasto en I+D ayuda a reducir la degradación ambiental, la correlación entre las dos medidas de degradación ambiental y el gasto en I+D, es positiva tanto a nivel global como regional, con excepción de la región de Asia del Sur, cuya relación del gasto en I+D con la variable huella ecológica es débilmente negativa.
- Segundo, mediante la prueba de cointegración de Pedroni (1999) demostramos que existe un equilibrio conjunto y simultaneo a largo plazo entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D, y entre la huella ecológica y el gasto en I+D a nivel global y en todas las regiones consideradas. Los resultados del modelo PDOLS señalan que sin efectos de la variable dummy del tiempo, el gasto en I+D afecta negativamente a las emisiones de CO2 en las regiones de Asia Oriental y el Pacifico, Medio Oriente y África del Norte; y África Subsahariana. Mientras que a nivel global y en las demás regiones analizadas, el efecto es positivo y significativo con excepción de la región de AL, C. Por otra parte, al incluir la variable dummy del tiempo, el gasto en I+D afecta negativamente a la huella ecológica a nivel global y en las regiones de AO, P; N, E, AC; AL, C y ASub.

Sin embargo, la fuerza del vector de cointegración no es contundente para ninguna región y para ninguna medida de degradación ambiental utilizada.

- La prueba DOLS, asimismo señala que la fuerza del vector de cointegración, no es contundente en la mayoría de los países. Sin embargo, el efecto que el gasto en I+D puede tener a nivel de país, para reducir las cargas ambientales es inverso en la mayoría de estos, sobre todo al utilizar la variable huella ecológica como medida de degradación ambiental. Esta evidencia, permite respaldar parcialmente la hipótesis central de esta investigación.
- Por otro lado, usando las pruebas de cointegración de corto plazo para datos de panel planteado por Westerlund (2007), encontramos que en promedio durante el periodo 1996-2016, existe una relación de equilibrio a corto plazo entre las dos medidas de degradación ambiental utilizadas y el gasto en I+D a nivel global y en todas las regiones analizadas. Es decir, evidenciamos que las variables se mueven conjuntamente en el tiempo y por tanto, los cambios actuales del gasto en I+D repercuten automáticamente en la degradación ambiental de las regiones analizadas.
- Finalmente, encontramos que existe causalidad bidireccional entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D, y entre la huella ecológica y el gasto en I+D a nivel global. En la región de Asia Oriental y el Pacifico, existe una causalidad bidireccional entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D y una relación causal unidireccional que va desde la huella ecológica al gasto en I+D. En la región de Medio oriente y África del Norte, existe causalidad unidireccional que va desde la huella ecológica al gasto en I+D; y causalidad unidireccional desde el gasto en I+D hacia la huella ecológica en la región de Norteamérica, Europa y Asia Central.

i. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones recomendamos considerar lo siguiente:

- Al compartir los modelos, características comunes en el tiempo tanto a corto como a largo plazo, las implicaciones de política derivadas de esta investigación están direccionadas a fomentar mayores gastos en investigación y desarrollo ambientalmente amigables en todos los sectores a fin de reducir el cambio climático.
- Dado que los impactos ambientales se ven afectados significativamente por el cambio tecnológico, y por políticas ambientales que crean nuevas restricciones e incentivos que afectan el proceso de desarrollo tecnológico (Jaffe, Newell & Stavins, 2002); es importante que los gobiernos se enfoquen en la calidad del gasto en I+D para que este impulse la innovación ambiental y genere en el largo plazo, un crecimiento y desarrollo económico sostenido a nivel global y en las diferentes regiones.
- Los formuladores de política, deben considerar el nivel de ingreso de los países y fomentar políticas públicas orientadas a la conservación de los recursos naturales e inversión ecológica a través de normativas más sólidas que regulen los impactos ambientales ocasionados con las diferentes actividades económicas.
- Siguiendo a Zilio (2008) las acciones de política ambiental deben concentrarse en el logro de mejoras de eficiencia en el sector industrial y en la disminución de la intensidad energética mediante la reconversión progresiva de las matrices energéticas hacia formas de generación de energía más sustentables, basadas fundamentalmente en recursos renovables e implementando medidas para elevar la eficiencia de las técnicas empleadas para minimizar su impacto sobre la calidad ambiental durante la transición.
- Los problemas ambientales al igual que los gastos agregados en I+D, difieren significativamente con el desempeño económico de las diferentes economías. Por tanto, recomendamos que futuras investigaciones clasifiquen a los países por su nivel de desarrollo, lo cual permitirá un análisis más preciso y concreto. Asimismo, recomendamos incluir variables de control al modelo, puesto que, la

interacción del modelo planteado con otras variables como los combustibles fósiles, consumo hidroeléctrico, entre otros, permite evaluar posibles cambios en nuestros resultados y dar mayor robustez a los mismos. Por último, dado que los gastos en I+D agregados, están direccionados a varios sectores de la economía, recomendamos profundizar este estudio, con pruebas de sensibilidad y utilizar diferentes índices o medidas de investigación y desarrollo (I+D).

j. BIBLIOGRAFÍA

Achkar, M. (2005). Indicadores de sustentabilidad. *Ordenamiento ambiental del territorio. Montevideo: DIRAC Facultad deficiencias*.

Agencia Internacional de Energía (IEA). (2018). *Clean energy technologies*. Recuperado de https://www.iea.org/topics/cleanenergytechnologies/

Alvarado, R., Iñiguez, M., & Ponce, P. (2017). Foreign direct investment and economic growth in Latin America. *Economic Analysis and Policy*, *56*, 176-187.

Alvarado, R., Ponce, P., Criollo, A., Córdova, K., & Khan, M. K. (2018). Environmental degradation and real per capita output: New evidence at the global level grouping countries by income levels. *Journal of Cleaner Production*, *189*, 13-20.

Amir, S. (1995). The environmental cost of sustainable welfare. *Ecological Economics*, *13*(1), 27-41.

Auci, S., & Trovato, G. (2018). The environmental Kuznets curve within European countries and sectors: greenhouse emission, production function and technology. *Economia Politica*, *35*(3), 895-915.

Aydin, C., Esen, Ö., & Aydin, R. (2019). Is the ecological footprint related to the Kuznets curve a real process or rationalizing the ecological consequences of the affluence? Evidence from PSTR approach. *Ecological Indicators*, *98*, 543-555.

Azqueta, D., Ramírez, A., & Villalobos, D. (2007). *Introducción a la economía ambiental* (No. 333.70972 I5).

Badii, M. H. (2008). La huella ecológica y sustentabilidad. Revista Daena (International Journal of Good Conscience), 3(1).

Ballesteros, H. B., & Aristizabal, G. L. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. Bogotá DC: nota técnica del IDEAM.

Banco Mundial. (2018). *Indicadores de Desarrollo Mundial*. Recuperado de https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-development-indicators

Banerjee, R., & Gupta, K. (2017). The effects of environmental sustainability and R&D on corporate risk-taking: International evidence. *Energy Economics*, *65*, 1-15.

Bator, F.M. (1958). «The anatomy of market failure». *Quarterly Journal of Economics.* Reimpreso en *Essential Readings in Economics* (1995), 129-58, New York: St Martin's Press.

Bárcena, A. (2008). Innovación para el desarrollo. Reflexiones desde América Latina y el Caribe. *apresentação da Secretária Executiva da CEPAL no Painel, 2009.*

Bello, M. O., Solarin, S. A., & Yen, Y. Y. (2018). The impact of electricity consumption on CO 2 emission, carbon footprint, water footprint and ecological footprint: The role of hydropower in an emerging economy. *Journal of Environmental Management*, *219*, 218-230.

Brausmann, A., & Bretschger, L. (2018). Economic Development on a Finite Planet with Stochastic Soil Degradation. *European Economic Review*.

Bosetti, V., Carraro, C., Duval, R., & Tavoni, M. (2011). What should we expect from innovation? A model-based assessment of the environmental and mitigation cost implications of climate-related R&D. *Energy Economics*, *33*(6), 1313-1320.

Castillo, R. M. (2007). Algunos aspectos de la huella ecológica. InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, 8(14), 11-25.

CEPAL. (2018). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales Recuperado de https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40155

Centella, A., Llanes, J., Paz, L., López, C., & Limia, M. (1994). Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Cohen, G., Jalles, J. T., Loungani, P., & Marto, R. (2018). The long-run decoupling of emissions and output: Evidence from the largest emitters. *Energy Policy*, 118, 58–68.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (2015). *Acuerdo de París sobre el Cambio Climático*. Recuperado de https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

Čuček, L., Klemeš, J. J., & Kravanja, Z. (2012). A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *34*, 9-20.

Cherniwchan, J. (2012). El crecimiento económico, la industrialización y el medio ambiente. *Economía de recursos naturales y energéticos*, 34(4), 442-467.

Dickey, D., Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49, 1057-1072.

Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, *29*(4), 1450-1460.

Dutta, S., Lanvin, B., & Wunsch-Vincent, S. (2017). The global innovation index 2017: Innovation feeding the world. *TAPideia–tropical agriculture platform*.

Ercolano, S., & Romano, O. (2017). Spending for the environment: General government expenditure trends in Europe. *Social Indicators Research*, 1-25

Escamilla Santana, M. Á. (2010). Identificación y valoración de variables vinculadas al uso de las TIC´ s como estrategia de enseñanza-aprendizaje en la Universidad Autónoma de Querétaro, México. Especial referencia al uso del Blended Learning.

Farhidi, F. (2017). Solar impacts on the sustainability of economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *77*, 440-450.

Fernández, Y. F., López, M. F., & Blanco, B. O. (2018). Innovation for sustainability: The impact of R&D spending on CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 3459-3467.

Foro Nuclear. (2015). *Las emisiones de CO2 en el mundo, en un informe de la Fundación Empresa y Clima*. Recuperado de https://www.foronuclear.org/es/noticias/ultimas-noticias/123185-informe-sobre-las-emisiones-de-co2-en-el-mundo.

Galli, A., Giampietro, M., Goldfinger, S., Lazarus, E., Lin, D., Saltelli, A., & Müller, F. (2016). Questioning the ecological footprint. *Ecological Indicators*, *69*, 224-232.

Gallopín, G. C. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*. CEPAL.

Garduño, R. (2004). ¿ Qué es el efecto invernadero?. Cambio climático: una visión desde México, 29.

Gerlagh, R., Kverndokk, S., & Rosendahl, K. E. (2009). Optimal timing of climate change policy: Interaction between carbon taxes and innovation externalities. *Environmental and Resource Economics*, *43*(3), 369-390.

González, R. (2012). Emisiones de CO2. *Twenergy*. Recuperado de https://twenergy.com/a/emisiones-de-co2-458.

Gu, G., & Wang, Z. (2018). Research on global carbon abatement driven by R&D investment in the context of INDCs. *Energy*, *148*, 662-675.

Gujarati, D., & Porter, D. (2010). Econometría (quinta edición). McGraw-Hill

Greene, W. H. (2003). *Econometric Analysis*. Pearson Education India.

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, *110*(2), 353-377.

Hajilary, N., Shahi, A., & Rezakazemi, M. (2018). Evaluation of socio-economic factors on CO 2 emissions in Iran: Factorial design and multivariable methods. *Journal of Cleaner Production*, 189, 108–115.

Hale, M. (1995). Training for environmental technologies and environmental management. *Journal of Cleaner Production*, *3*(1-2), 19-23.

Hammond, G. P. (2000). Energy, environment and sustainable development: a UK perspective. *Process Safety and Environmental Protection*, *78*(4), 304-323.

Head, J.G. (1962). «Public goods and public policy». *Public Finance*, 17(3):197-219.

Henderson, V. (2005). Urbanization and growth. *Handbook of Economic Growth*. *1*, 1543-1591.

Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1251-1271.

Ibhagui, O. W. (2019). Does the long-run monetary model hold for Sub-Saharan Africa? A time series and panel-cointegration study. *Research in International Business and Finance*, *47*, 279-303.

Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, *115*(1), 53-74.

Index Mundi. (2018). *Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB)*. Recuperado de https://www.indexmundi.com/es/datos/indicadores/GB.XPD.RSDV.GD.ZS

Ito, K. (2017). CO2 emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, *151*, 1-6.

Ivanova, D., Stadler, K., Steen-Olsen, K., Wood, R., Vita, G., Tukker, A., & Hertwich, E. G. (2016). Environmental impact assessment of household consumption. *Journal of Industrial Ecology*, *20*(3), 526-536.

Iwata, H. Okada, K. & Samreth, S. (2010). Estudio empírico sobre la curva ambiental de Kuznets para el CO2 en Francia: el papel de la energía nuclear. *La política energética*, 38(8), 4057-4063.

Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Olivier, J. G.,. & Schure, K. M. (2017). Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries. *Joint Research Center: Brussels, Belgium*.

Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2002). Environmental policy and technological change. *Environmental and Resource Economics*, *22*(1-2), 41-70.

Jiao, J., Yang, Y., & Bai, Y. (2018). The impact of inter-industry R&D technology spillover on carbon emission in China. *Natural Hazards*, *91*(3), 913-929.

Kaldor, N. (1966). *Causes of the slow rate of economic growth of the United Kingdom: an inaugural lecture*. Cambridge University Press.

Kang, Y. Q., Zhao, T., & Yang, Y. Y. (2016). Environmental Kuznets curve for CO2 emissions in China: A spatial panel data approach. *Ecological Indicators*, *63*, 231-239.

Krekel, D., Samsun, R. C., Peters, R., & Stolten, D. (2018). The separation of CO 2 from ambient air–A techno-economic assessment. *Applied Energy*, *218*, 361-381.

Labandeira, X., León, C. J., & Vázquez, M. X. (2007). *Economía Ambiental* (No. 333.7 L3.). Pearson Educación.

Lee, K. H., & Min, B. (2015). Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, *108*, 534-542.

Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, *108*(1), 1-24.

Liu, X., & Bae, J. (2018). La urbanización e industrialización, el impacto de las emisiones de CO 2 en China. *Journal of Cleaner Production*, 172, 178-186.

López, J. H. (2008). Geopolítica del petróleo y crisis mundial. *Dyna*, *75*(156).

Lu, Z. N., Chen, H., Hao, Y., Wang, J., Song, X., & Mok, T. M. (2017). The dynamic relationship between environmental pollution, economic development and public health: evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, *166*, 134-147.

Marin, G., & Mazzanti, M. (2013). The evolution of environmental and labor productivity dynamics. *Journal of evolutionary economics*, *23*(2), 357-399.

Marshall, A. (1890). *Principles of Economics*. Vol. 1, London: Macmillan.

Meliá, D. J. M. (2005). La innovación, concepto e importancia económica. In *VI Congreso de Economía de Navarra*.

Mikayilov, J. I., Hasanov, F. J., & Galeotti, M. (2018). *Decoupling of C02 Emissions and GDP: A Time-Varying Cointegration Approach* (No. 101). IEFE, Center for Research on Energy and Environmental Economics and Policy, Universita'Bocconi, Milano, Italy.

Moghaddam, S. M., Nazari, M. R., & Soufizadeh, S. (2018). Integrating ecological impact indicators into economic restructuring decisions. *Ecological Indicators*, *89*, 327-335.

National Geographic. (2010). *¿Qué es el calentamiento global?*. Recuperado de https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global

Norton, B.B. (1992). «Sustainability, Human Welfare and Ecosystem Health», *Ecological Economics*, vol. 14, n. 2, pp. 113-127.

O'Connor, J. R. (2001). *Causas naturales: ensayos de marxismo ecológico*. Siglo xxI.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2018). Estadística. Recuperado de: https://es.unesco.org/

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2016). (14 de septiembre, 2016). *¿Cuánto invierten los países en I+D? Una nueva herramienta de la UNESCO identifica a los nuevos protagonistas salud* [Nota de prensa]. Recuperado de http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/how_much_do_countries_invest_in_rd_new_unesco_data_tool_re/

Organización Mundial de la Salud (OMS). (1 de febrero, 2018). *Cambio climático y salud* [Nota descriptiva]. Recuperado de http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cambio-clim%c3%a1tico-y-salud

Ortiz, C., Alvarado, R., & Salinas, A. (2018). The effect of military spending on output: New evidence at the global and country group levels using panel data cointegration techniques. *Economic Analysis and Policy*.

Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, *61*(S1), 653-670.

Pedroni, P. (2001). Purchasing power parity tests in cointegrated panels. *Review of Economics and Statistics*, *83*(4), 727-731.

Persyn, D., & Westerlund, J. (2008). Error-correction-based cointegration tests for panel data. *Stata Journal*, *8*(2), 232-241.

Phillips, P., Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrica*, 75, 335-346.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2018). *Objetivos de desarrollo Sostenible.* Recuperado de http://www.undp.org./content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html

Pujol, E. F., & Vivó, L. A. (2008). I+ D+ I: una perspectiva documental. In Anales de documentación (Vol. 11, pp. 43-56). Facultad de Comunicación y Documentación y Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.

Quesada, J. L. D., & y Certificación, A. E. D. N. (2009). Huella ecológica y desarrollo sostenible. Aenor.

Red global de la huella. (2018). *Avanzando la ciencia de la sostenibilidad*. Network, G.F. Recuperado de https://www.footprintnetwork.org/

Rechmann, J. (1995). Desarrollo sostenible: la lucha por la interpretación. *De la economía a la ecología*, *1*.

Samuelson, P. (1955). «Diagrammatic exposition of the pure theory of public expenditure». *Review of Economics and Statistics*, 37(4):350-356.

Samuelson, P. (1954). «The pure theory of public expenditure». *Review of Economics and Statisitics*, 36(4):387-389.

Scherer, L., Behrens, P., de Koning, A., Heijungs, R., Sprecher, B., & Tukker, A. (2018). Trade-offs between social and environmental Sustainable Development Goals. *Environmental Science & Policy*, *90*, 65-72.

Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Teksoz, K., Durand-Delacre, D., & Sachs, J. D. (2017). National baselines for the Sustainable Development Goals assessed in the SDG Index and Dashboards. *Nature geoscience*, *10*(8), 547.

Schumpeter, J. A. (1934). The theory of economic development: An inquiry into profits. Capital, credit, interest, and the business cycle, 55. Transaction publishers.

Silvestre, B. S., & Ţîrcă, D. M. (2019). Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, *208*, 325-332.

Solow, R. M., (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. Rev. Econ. Stat.39-3, 312-320.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., & Folke, C. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, *347*(6223), 1259855.

Stern, N. H., 2007. The economics of climate change: the Stern review. Cambridge University Press.

Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, *32*(2), 334-361.

Teixeira, A. A., & Queirós, A. S. (2016). Economic growth, human capital and structural change: A dynamic panel data analysis. *Research Policy*, *45*(8), 1636-1648.

United States Environmental Protection Agency (EPA, 2018). *Carbon Monoxide (CO) Pollution in Outdoor Air*. Recuperado de https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO

Venselaar, J. (1995). Environmental training: industrial needs. *Journal of Cleaner Production*, *3*(1-2), 9-12.

Viglia, S., Civitillo, D. F., Cacciapuoti, G., & Ulgiati, S. (2018). Indicators of environmental loading and sustainability of urban systems. An emergy-based environmental footprint. *Ecological Indicators*, *94*, 82-99.

Wang, S., Li, G., & Fang, C. (2018). Urbanization, economic growth, energy consumption, and CO2emissions: Empirical evidence from countries with different income levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(March), 2144–2159. http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.025

Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth* (Vol. 9). New Society Publishers.

Wackernagel, M., Lin, D., Hanscom, L., Galli, A., & Iha, K. (2019). Ecological Footprint. *Encyclopedia of Ecology*, *4*(2), 270-282.

Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, *69*(6), 709-748.

Wiebe, K. S. (2018). Identifying emission hotspots for low carbon technology transfers. *Journal of Cleaner Production*, *194*, 243-252.

Wooldridge, J.M. (1991). On the application of robust, regression-based diagnostics to models of conditional means and conditional variances. J. Econometrics 47 (1), 5–46.

Wooldridge, J.M. (2002). Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data. MIT Press, Cambridge, MA.

Zilio, M. I. (2008). Emisiones de dióxido de carbono en América Latina. Un aporte al estudio del cambio climático. Economia y sociedad, 14(22), 133-161.

k. ANEXOS

5. ANEXO 1

PROYECTO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD JURÍDICA SOCIAL Y ADMINISTRATIVA
CARRERA ECONOMÍA

TÍTULO:

"Relación entre el gasto en I + D y la degradación ambiental: nueva evidencia a nivel global y grupos de países usando técnicas de cointegración y causalidad de datos de panel, periodo 1996-2016"

Proyecto del trabajo de titulación previo a la obtención del título de Economista

AUTORA:

Nathaly Victoria Jiménez Arrobo

LOJA – ECUADOR

2018

a) TEMA

"Relación entre el gasto en I + D y la degradación ambiental: nueva evidencia a nivel global y grupos de países usando técnicas de cointegración y causalidad de datos de panel, periodo 1996-2016"

b) PROBLEMÁTICA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación ambiental ha aumentado significativamente durante las últimas décadas constituyéndose en una gran amenaza para la sostenibilidad de las generaciones actuales y futuras. En este marco, una de las consecuencias más grave de la degradación ambiental es el calentamiento global causado principalmente por las emisiones de dióxido de carbono (CO2) que se van maximizando cada vez más en los países desarrollados e industrializados. Según datos publicados por el Banco Mundial (2018) al año 2014, los países de ingreso alto emiten una media de 11,00 toneladas métricas (TM) de dióxido de carbono (CO2) per cápita. Esto representa aproximadamente el doble de las emitidas por países de ingresos medios altos (6,6 TM), tres veces de las emitidas por países de ingresos medios bajos (3,5 Mt), y casi 37 veces de las emisiones emitidas por los países de ingresos bajos (0,3 Mt). Por otra parte, "las emisiones totales en el mundo en el año 2014 fueron de 32.381 millones de toneladas de CO2, con un aumento del 0,8% respecto al año 2013 y un incremento del 57,9% respecto al año 1990". Siendo China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón, los países que más emiten "representando conjuntamente casi el 60% de las emisiones totales" (Foro Nuclear, 2015).

En otro contexto, la huella ecológica considerada otra medida de la degradación ambiental y que representa el conjunto de recursos ecológicos necesarios para generar los productos que demanda una determinada población y asimilar los residuos que genera, empeora cada día más. Al año 2015, la huella ecológica correspondía al consumo de recursos equivalentes a 1,6 planetas Tierra y para el año 2018, la demanda de recursos supera en casi un 50% a la capacidad de regeneración natural. Con esto, la

huella ecológica es mayor que el planeta en el que vivimos y estamos liquidando el capital natural en vez de consumir globalmente sólo lo que demandamos de manera sostenible. De hecho, según la Red Global de la Huella (2018) al 1 de agosto del año 2018 la humanidad ya ha consumido todos los recursos naturales que la Tierra es capaz de regenerar en un año y entramos en un déficit ecológico. En este marco, los países que más hectáreas consumen por ciudadano, necesitan un total de 5 hectáreas por habitante (Emiratos Árabes Unidos, Qatar, Bahrein, Dinamarca y Estados Unidos). Mientras que los habitantes del otro extremo del *rating* únicamente necesitan de media aproximadamente una hectárea para satisfacer sus consumos (Zambia, Burundi, India y Sri Lanka) (SeResponsable.com, 2017).

Los esfuerzos por preservar el medio ambiente y garantizar la sostenibilidad económica no están a la altura de los desafíos. La mayoría de los países del mundo tienen déficits ecológicos y utilizan más recursos de los que los ecosistemas pueden regenerar. Por tanto, frenar a tiempo el exceso de gases de efecto invernadero y buscar soluciones inmediatas, para tales efectos es crucial para detener sus nefastas consecuencias. De esta manera, las políticas enmarcadas a mitigar las emisiones de CO2, tornan de gran interés en el ámbito académico, político y científico, puesto que se deben destinar grandes esfuerzos y recursos para promover un desarrollo económico con herramientas, mecanismos y prácticas ambientalmente amigables que eviten la contaminación y garanticen la sostenibilidad.

Limitar las emisiones de dióxido de carbono (CO2) implica sin duda, por un lado abarcar soluciones que incluyan mejorar la actividad humana creando hábitos saludables que lleguen a traspasarse de generación en generación. Y por otro, promover la generación de electricidad limpia y "conseguir fuentes alternativas al carbón, al gas natural y al petróleo para reducir las emisiones de CO2 a la atmósfera y, de forma sustancial, reducir el imparable aumento de las temperaturas" (Mohorte, 2017). Así también, es necesario un cambio tecnológico que permita realizar actividades económicas sostenibles con menor impacto ambiental. En este contexto, uno de los mecanismos más importantes para lograr este cambio estructural e impulsar el desarrollo económico es la innovación (Schumpeter, 1934). Puesto que un proceso

innovador puede tener mayores y mejores consecuencias, consumir menos energía y ser un menor contaminador para conseguir un crecimiento sostenible.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El gasto en I+D se torna un elemento fundamental para controlar y disminuir la degradación ambiental y con ello promover un crecimiento económico sostenible y un equilibrio con el cuidado del medio ambiente y el bienestar social.
En este marco, la presente investigación pretende dar respuesta a la siguiente pregunta:
¿Cuál es la relación entre el gasto en I + D y la degradación ambiental a nivel global y grupos de países, periodo 1996-2016?

3. ALCANCE DEL PROBLEMA

El tema de investigación se desarrollará considerando 85 países del mundo, clasificados en seis regiones. El estudio, además está delimitado de manera temporal puesto que abarca los años de 1996 al 2016 y, utilizará técnicas de cointegración y causalidad de datos de panel para estimar la relación de corto y largo plazo entre el gasto en I + D, las emisiones de CO2 y la huella ecológica.

4. EVALUACIÓN DEL PROBLEMA

La degradación ambiental además de generar un gran costo económico, también afecta la salud humana y produce la perdida de la biodiversidad y el agotamiento de la capa de ozono. Por tanto, tomar medidas para detenerla y minimizar sus secuelas se tornan cruciales en todo el mundo. En este sentido, la inversión y mejora en I+D, es fundamental para mejorar los procesos y producir de una manera eficiente y sostenible.

Con esto, el estudio del problema gira en torno a la relación entre el gasto en I + D y la degradación ambiental medida por las emisiones de CO2 y la huella ecológica. Lo cual permitirá generar evidencia, para formular implicaciones de política económica y que las diferentes regiones se orienten a mejorar sus políticas ambientales.

5. PREGUNTAS DIRECTRICES

La investigación se guiara por las siguientes preguntas directrices:

- ¿Cuál ha sido la evolución y la correlación del gasto en I + D y las emisiones de CO2; y del gasto en I+D y la huella ecológica durante el periodo 1996-2016?
- ¿Existe una relación de largo plazo, corto plazo entre las variables para 85 países del mundo clasificados por regiones?
- ¿Existe causalidad entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica, para 85 países del mundo clasificados por regiones?

a) JUSTIFICACIÓN

1. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

Uno de los propósitos de la Universidad Nacional de Loja es complementar la teoría con la práctica. Por eso se busca generar aportes investigativos que generen evidencia, refuercen conocimientos y den respuesta a los distintos conflictos que en nuestra sociedad se presentan.

Como estudiante de la Universidad Nacional de Loja de la Carrera de Economía, y siendo además, un requisito previo a la obtención del grado de economista, el presente trabajo servirá para generar un aporte investigativo que contribuya a la literatura y debate de los factores que reducen la degradación ambiental y promueven la sostenibilidad. Así como también, para referencia de futuras investigaciones interesadas en la temática.

2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Considerando la importancia del medio ambiente en el crecimiento y desarrollo económico sustentable y sostenido; se ve la necesidad de hacer un análisis del impacto que tiene el gasto en innovación y desarrollo en las emisiones de CO2 y huella ecológica a nivel mundial y por regiones, usando técnicas de cointegración y causalidad

de datos de panel. Dicho análisis permitirá conocer la existencia o no de una relación en el corto y largo plazo entre las variables descritas, así como también la causalidad y la fuerza del vector de equilibrio entre las mismas. Para de esta manera, proponer políticas específicas en función de la región de los países y con ello, ayudar a proporcionar una base consistente para la formulación de políticas económicas encaminadas a fomentar y fortalecer el crecimiento y desarrollo económico sostenido.

3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Disminuir la contaminación y frenar la degradación ambiental es un objetivo a nivel global, puesto que, los efectos de estos no se reflejan únicamente en el lugar en el cual se producen, ni tienen solamente implicaciones ambientales y económicas. Sino también sociales, especialmente en el área de la salud humana puesto que, según la Organización Mundial de Salud (OMS, 2018) entre el año 2030 y 2050 el cambio climático ocasionara aproximadamente 250.000 muertes adicionales cada año. Por tanto, se debe adoptar medidas y procurar que el crecimiento económico de cada región y país sea promovido con procesos y técnicas sostenibles.

Realizar un estudio, que analice dos distintas medidas de degradación ambiental con los gastos en investigación y desarrollo realizados por los diferentes países, ayudara a que los policy makers tomen los aportes generados en la investigación como recomendaciones para mejores decisiones estratégicas en el futuro.

b) OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Examinar la relación que existe entre el gasto en I+D, las emisiones de CO2 y la huella ecológica a nivel mundial y grupos de países en el periodo 1996-2016, mediante un modelo econométrico de cointegración y causalidad de datos de panel, con el fin de determinar el equilibrio de corto plazo, largo plazo y causalidad entre las variables.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la evolución y la correlación entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica durante el periodo 1996-2016.
- Estimar el equilibrio de corto y largo plazo entre las variables del modelo, para 85 países del mundo clasificados por regiones.
- Estimar la causalidad entre el gasto en I+D y las emisiones de CO2; y entre el gasto en I+D y la huella ecológica, para 85 países del mundo clasificados por regiones.

c) MARCO TEÓRICO

1. ANTECEDENTES

El cambio climático en general y el calentamiento global en particular, se encuentran entre los problemas ambientales más serios con los que se enfrenta la humanidad. En este marco, **l**as emisiones de CO2 son uno de los indicadores más utilizados de la degradación ambiental. La cantidad de CO2 que un país emite, primero, está asociado con el nivel de desarrollo que experimentan. Por ejemplo, China señalado como el mayor contaminador del mundo, es responsable del 29.2% del total de las emisiones de dióxido de carbono; mientras que otros países como India, Indonesia y Brasil son responsables del 7.1%, 1.5% y 1.3% respectivamente (Janssens-Maenhout et al, 2017). Segundo, con el uso y tipo de fuente de energía, la fabricación, y la tasa de urbanización (Iwata, Okada & Samreth, 2010). Existe una mayor conciencia ambiental en los países desarrollados, debido a que, a medida que los países alcanzan mayores niveles de desarrollo, crean condiciones para que los procesos de producción y legislación ambiental sean regularizados. Sin embargo, estas condiciones también conducen a los fabricantes a trasladar sus operaciones (Cherniwchan, 2012) a países en desarrollo o emergentes, en los cuales las regulaciones para proteger el medio ambiente tienden a ser más fláccidos, debido a que las empresas manufactureras tienen pocos incentivos para utilizar las tecnologías y procesos que reducen la contaminación ambiental.

Los efectos negativos del calentamiento global son cada vez más visibles (Cohen, Jalles, Loungani & Marto, 2018; Hajilary, Shahi & Rezakazemi, 2018), y los problemas de la degradación ambiental se han convertido en un problema en la salud y calidad de vida, lo que atrae la atención de las organizaciones y autoridades, particularmente en países con altos niveles de contaminación (Lu et al., 2017). Esto aumenta la necesidad de promover el crecimiento de ciudades sostenibles, el uso de energía respetuosa con el medio ambiente y la innovación tecnológica (Liu y Bae, 2018). Asimismo, el crecimiento masivo de emisiones de CO2 implica que el calentamiento global y el cambio climático se vuelvan una seria amenaza para el consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y, por lo tanto, exijan una respuesta global urgente (Stern, 2007). En este contexto, la implementación de nuevas e innovadoras formas de producir más amigable con el medio ambiente, se vuelven cruciales y con ello, las políticas que abarcan el calentamiento global y la reducción de las emisiones de efecto invernadero para promover un crecimiento económico sostenible en cada región son de gran interés y debate internacional.

Otro indicador de la sostenibilidad es la huella ecológica que trata de establecer una relación entre las actividades humanas y los límites que establece la capacidad de carga de la biosfera. A nivel mundial, la sociedad está operando en un estado de rebasamiento, con una huella global que supera la biocapacidad mundial en más del 68% en 2013. Este rebasamiento agota el capital natural del que depende la sociedad humana, reduciendo las existencias. Los niveles de la huella ecológica y la biocapacidad varían ampliamente con el tiempo y entre las regiones y los países (Wackernagel, Lin, Hanscom, Galli & Iha, 2019).

En este sentido, uno de los mecanismos más importantes para impulsar el desarrollo económico y lograr un cambio estructural es la innovación (Schumpeter, 1934). Así también, después del trabajo de Solow (1957), la innovación y el desarrollo tecnológico tomaron un papel progresivo en la literatura económica como determinante del crecimiento económico. En perspectiva, el gasto en I + D se puede tomar como motor de un crecimiento económico menos contaminante. Siendo así, que en los últimos años, el amplio consenso alcanzado sobre que el cambio tecnológico es el camino hacia lograr un desarrollo sostenible ha provocado un gran interés en la innovación y su promoción,

involucrando a la mayoría de los agentes económicos (Fernández, López & Blanco, 2018). Por tanto, invertir en ciencia, tecnología e innovación es fundamental para el desarrollo económico y el progreso social.

Aunque la literatura teoría e empírica que analiza los efectos y causas de las emisiones de CO2, así como las posibles soluciones que se pueden adoptar para disminuirlas es amplia. No existen amplias investigaciones que analicen y relacionen directamente el efecto que tiene el gasto en I+D en las emisiones de CO2 y más aún en la huella ecológica, dos medidas de degradación ambiental ampliamente estudiadas en otros contextos. Por lo cual existe un vacío en el conocimiento de tan importante temática.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)

El dióxido de carbono (CO2), es un gas denso que forma parte de la capa de la atmósfera más cercana a la tierra y tiene un gran impacto en el efecto invernadero. Su acelerada concentración, ha aumentado significativamente durante las últimas décadas causando múltiples efectos a nivel de todo el mundo.

El dióxido de carbono, se constituye en uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI), cuyo aumento cambia el clima de la Tierra, imponiendo desafíos únicos para todo tipo de vida (National Geographic, 2010).

Más del 75 por ciento de las emisiones de CO2 provocadas por el ser humano provienen de los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) y “aproximadamente el 50% del CO2 emitido a la atmósfera tardará 30 años en desaparecer, un 30% permanecerá varios siglos y el 20% restante durará varios miles de años” (González, 2012).

2.2 HUELLA ECOLÓGICA

La huella ecológica es el área de territorio productivo o ecosistema necesario para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población. Se constituye en un concepto que analiza el impacto que los individuos y grupos sociales provocan en el entorno natural (Achkar, 2005) y pretende estimar, como

se ha apuntado, la cantidad de recursos naturales y ambientales necesarios, dada la tecnología disponible, para sostener el nivel de consumo de una persona, región, país, o cualquier otro grupo social, así como para asimilar los desechos que produce (Azqueta, Ramírez & Villalobos, 2007).

La huella ecológica es un indicador del impacto ambiental generado por la demanda que se hace de los recursos existentes en los ecosistemas del planeta, relacionándola con la capacidad ecológica de la Tierra de regenerar sus recursos. Esta capacidad regenerativa es el factor material más limitante para las economías humanas. Muchas actividades humanas imponen demandas a la capacidad regenerativa del planeta, incluida la provisión y el procesamiento de alimentos, la construcción y el mantenimiento de viviendas, el transporte y el consumo de bienes y servicios (Bello, Solarin & Yen,2018).

Aunque la huella ecológica aspira a ser sobre todo un indicador cuantitativo y preciso, sus principales frutos los ha dado como marco conceptual que permite comparar sociedades completamente dispares y evaluar su impacto sobre el medio ambiente planetario. Los niveles de la huella ecológica y la biocapacidad varían ampliamente con el tiempo y entre las regiones y las naciones. En algunas zonas del mundo, las consecuencias de los déficits ecológicos pueden ser devastadoras, lo que lleva a la pérdida de recursos, al colapso del ecosistema, a la deuda, a la pobreza, al hambre y a la guerra.

La Huella ecológica ayuda a los países a comprender su presupuesto ecológico y les brinda los datos necesarios para administrar sus recursos y construir un futuro seguro y sostenible.

2.3 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El gasto en I + D es la variable más utilizada en la literatura económica como medida de la innovación debido al enfoque macroeconómico de los estudios.

La innovación es el resultado de un proceso complejo que lleva nuevas ideas al mercado en forma de productos o servicios y de sus procesos de producción o provisión, que son nuevos o significativamente mejorados (Meliá, 2005).

Desde otra visión, “la investigación y los avances en el campo de las tecnologías verdes contribuyen al progreso económico y social al tiempo que respetan el medio ambiente y construyen sociedades más ecológicas e inclusivas” (UNESCO, 2018).

2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS PAÍSES SEGÚN LA REGIÓN (BANCO MUNDIAL)

El Banco Mundial con fines administrativos, además de clasificar a los países por grupo de ingresos y por categorías de préstamos operacionales del Grupo del Banco Mundial, clasifica a los países por su región geográfica.

Las agrupaciones geográficas son siete[11] y existen dos variantes principales: una que incluye todas las economías y otra que excluye las economías de ingresos altos (Banco mundial, 2018).

Cada región incluye economías de todos los niveles de ingreso. Así tenemos:

- Asia oriental y el Pacífico
- Europa y Asia Central
- América Latina y el Caribe
- Norteamérica
- Medio Oriente y África del Norte
- Asia del Sur
- África Sub-sahariana

2.5 DATOS DE PANEL

La técnica de datos de panel permite combinar una dimensión temporal (serie de tiempo) y otra transversal (individuos) para capturar la heterogeneidad no observable entre los agentes individuales de estudio y el tiempo que no se puede detectar con los estudios de series y con los de corte transversal.

[11] Para desarrollar la presente investigación, la región de Norteamérica se agrupara con la de Europa y Asia Central, cuyos países comparten características similares.

La técnica permite además, disponer de un mayor número de observaciones incrementando los grados de libertad y reduciendo la colinealidad entre las variables explicativas (Mayorga & Muñoz, 2000). Elimina el sesgo de la agregación al trabajar con datos desagrupados, elimina el sesgo de especificación que tienen los modelos de series temporales que no tienen en cuenta las características inobservables de los individuos que podrían estar condicionando su comportamiento y reduce los problemas de multicolinealidad respecto a los modelos de serie temporal (Pérez & Fernández, 2009).

La especificación general de un modelo de regresión con datos de panel es la siguiente:

$$Yit = \alpha it + Xit\ \beta + uit$$

Donde i se refiere al individuo o a la unidad de estudio, t a la dimensión en el tiempo, α es un vector de interceptos de n parámetros, β es un vector de K parámetros y Xit es la i-ésima observación al momento t para las K variables explicativas. La muestra total de las observaciones en el modelo está dada por N x T.

Cabe mencionar que para evitar limitaciones en el análisis e inconsistencia en los resultados, se debe aplicar un panel completo (Labra & Torrecillas, 2014).

3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La presente investigación se apoyará en el objetivo 9 y 13 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que hacen hincapié en la importancia del progreso tecnológico y la sustentabilidad del medio ambiente respectivamente. Y, en los artículos 2 y 6 del Acuerdo de París para el cambio climático.

Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructuras

El progreso tecnológico debe estar en la base de los esfuerzos para alcanzar los objetivos medioambientales, el aumento de los recursos y la eficiencia energética. Por tanto, es fundamental para encontrar soluciones permanentes a los desafíos económicos y ambientales. Promover la inversión en investigación e innovación científica facilita el desarrollo sostenible (PNUD, 2018).

1. Objetivo 13: Acción por el clima

El cambio climático afecta a todos los países del mundo, produciendo daños permanentes en el sistema climático y un impacto negativo en la economía, la vida de las personas y las comunidades (PNUD, 2018). Por tanto, el cambio climático es un reto global que no respeta las fronteras nacionales y un problema que requiere que la comunidad internacional trabaje de forma coordinada (CEPAL, 2015).

Los artículos 2 y 6 del Acuerdo de París por el cambio Climático mencionan lo siguiente:

Artículo 2 en sus numerales 1 literal a, b, c:

> 1. "*El presente Acuerdo, al mejorar la aplicación de la Convención, incluido el logro de su objetivo, tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello:*
>
> *a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 º C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 º C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;*
>
> *b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos; y*
>
> c) Situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero".

El **Artículo 6** en su numeral 4 literal a, b, c, d establece un mecanismo para contribuir a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y apoyar el desarrollo sostenible. El presente Acuerdo, tendrá por objeto:

> *a) Promover la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, fomentando al mismo tiempo el desarrollo sostenible;*
>
> *b) Incentivar y facilitar la participación, en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de las entidades públicas y privadas que cuenten con la autorización de las Partes;*
>
> *c) Contribuir a la reducción de los niveles de emisión en las Partes de acogida, que se beneficiarán de actividades de mitigación por las que se generarán reducciones de las emisiones que podrá utilizar también otra Parte para cumplir con su contribución determinada a nivel nacional; y*
>
> *d) Producir una mitigación global de las emisiones mundiales" (Naciones Unidas, 2015).*

f) METODOLOGÍA

1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Explorativa

Para analizar la relación del gasto en I+D, las emisiones de CO2 y la huella ecológica, se realizara una investigación de tipo exploratoria, la misma que permitirá conocer el contexto del tema a través de la recolección de datos y evidencia necesaria para interpretar y evaluar la relación entre las variables del modelo.

1.2 Descriptiva

La investigación será de tipo descriptiva, debido a que permitirá especificar y describir los datos, las características y aspectos más importantes del comportamiento de las variables objetivo para cada región y a nivel mundial en el periodo 1996-2016.

1.3 Correlacional

La presente investigación también será de tipo correlacional, debido que se evidenciará la correlación entre las variables mediante técnicas econométricas.

1.4 Explicativa

Asimismo, esta investigación será de tipo explicativa, dado que los resultados obtenidos serán explicados e interpretados para formular las respectivas alternativas de solución ante la problemática de la presente investigación.

2. MÉTODOS

2.1 Método científico

2.1.1 Inductivo

La utilización de este método, servirá para formular las respectivas conclusiones generadas de la investigación a partir de la hipótesis planteada.

2.1.2 Deductivo

Mediante la utilización de este método se hará un análisis de la información obtenida y procesada y así determinar las respectivas conclusiones del modelo objeto de análisis.

2.1.3 Analítico

Este método ayudará a identificar las partes de interés a lo largo de la investigación, revisando cuidadosamente toda la información obtenida.

2.1.4 Sintético

Este método permitirá hacer observaciones a partir de los elementos distinguidos por el análisis.

2.1.5 Estadístico

Con la utilización de este método se realizará el análisis de los datos cuantitativos de la investigación, se utilizará principalmente como proceso de obtención, representación, análisis, interpretación y proyección de las variables de esta investigación para una mejor comprensión de la realidad y una optimización en la toma de decisiones.

3. POBLACIÓN Y MUESTRA

En la presente investigación, la población está representada por los datos de 85 países del mundo, obtenidos de la Base de Datos de Emisiones para la Investigación Atmosférica Global (EDGAR, 2018) para la variable de emisiones de CO2; de la base de la Red Global de la Huella (2018) para la variable de la huella ecológica y de la base de datos de la UNESCO (2018) para la variable de gasto en I+D.
Las tres bases de datos son tomadas para el periodo 1996 -2016, de las variables relacionadas con el tema a investigar.

4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

4.1 Técnicas

4.1.1 Bibliográfica

La investigación será bibliográfica, puesto que utilizará información de fuentes secundarias que permitirán recolectar la información necesaria y desarrollar el presente trabajo investigativo.

4.1.2 Estadística

Esta técnica permitió recopilar, organizar y analizar los resultados encontrados de la investigación, para cumplir con los objetivos planteados y extraer las respectivas conclusiones y recomendaciones.

4.2 Instrumentos

La presente investigación, utilizara los siguientes instrumentos:

- Ficha bibliográfica
- Paquetes de software estadísticos

5. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

5.1 ANÁLISIS DE DATOS

Los datos recopilados para la presente investigación serán extraídos de la Base de Datos de Emisiones para la Investigación Atmosférica Global (EDGAR, 2018), de la base Red Global de la Huella (2018) y de la base de datos de la UNESCO (2018). Con el fin de examinar la relación de corto y largo plazo entre las variables del modelo, se usa las emisiones de dióxido de carbono (CO2) en toneladas métricas per cápita y la huella ecológica por persona como variables dependientes y el gasto interno bruto en I + D per cápita como variable independiente.

Para poder cumplir con los objetivos planteados, la investigación utilizara la clasificación de las regiones que hace el Banco Mundial: Asia oriental y el Pacífico; Norteamérica, Europa y Asia Central; América Latina y el Caribe; Medio Oriente y África del Norte; Asia del Sur y África Sub-sahariana. Y mediante un modelo econométrico de datos de panel, se analizará la relación de corto y largo plazo entre las variables, así como también la causalidad entre las mismas en el periodo 1996-2016.

Para verificar la dirección de la relación entre las tres variables a nivel global y por regiones, planteamos las siguientes ecuaciones:

$$\mathrm{CO2}_{i,t} = (\beta_0 + \delta_0) + \beta_1 \log(R\&D_{i,t}) + \mathcal{E}_{i,t} \qquad (1).$$

$$\mathrm{ef}_{i,t} = (\beta_0 + \delta_0) + \beta_1 \log(R\&D_{i,t}) + \mathcal{E}_{i,t} \qquad (2).$$

En la Ecuación 1 y 2, $\mathcal{E}_{i,t}$ es el término de error estocástico y los parámetros β_0 + δ_0 capturan la variabilidad en el tiempo (años) y espacio de los países.

5.2 FORMULACIÓN ECONOMÉTRICA

Para verificar que las series no tengan el problema de la raíz unitaria y determinar el orden de integración de las mismas, estimamos las siguientes ecuaciones:

$$CO2_t = \alpha_0 + \beta lR\&D_{t-1} + \alpha_1 t + \sum_{i=2}^{p} \lambda_j \, lR\&D_{t-i-1} + \varepsilon_t \qquad (3).$$

$$ef_t = \alpha_0 + \beta lR\&D_{t-1} + \alpha_1 t + \sum_{i=2}^{p} \lambda_j \, lR\&D_{t-i-1} + \varepsilon_t \qquad (4).$$

Donde, $CO2_t$ y ef_t son las variables dependientes, α_0 es el intercepto, α_1 captura el efecto tendencial del tiempo t, ε_t es el error gaussiano, y p representa la longitud del rezago. Una vez que verificamos que las series pierden el efecto tendencial, mediante el test de cointegración de Pedroni (1999), determinamos la relación de largo plazo y mediante el test de Westerlund (2007) el equilibrio de corto plazo entre las dos variables analizadas.

Las siguientes ecuaciones, formalizan los modelos a estimar:

$$CO2_{i,t} = \alpha_i + \sum_{j=1}^{n-1} \beta_{ij} X_{it-j} + \sum_{j=1}^{n-1} \omega_{1j} CO2_{i,t-j} + \pi_i ECT_{t-1} + \varepsilon_{i,t} \qquad (5).$$

$$ef_{i,t} = \alpha_i + \sum_{j=1}^{n-1} \beta_{ij} X_{it-j} + \sum_{j=1}^{n-1} \omega_{1j} ef_{i,t-j} + \pi_i ECT_{t-1} + \varepsilon_{i,t} \qquad (6).$$

$$CO2_{i,t} = \delta_i' d_t + \alpha_i (CO2 - \beta_i' X_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{Pi} \alpha_{ij} CO2 + \sum_{j=-qi}^{pi} \gamma_{ij} X_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t} \qquad (7).$$

$$ef_{i,t} = \delta_i' d_t + \alpha_i (ef_{i,t-1} - \beta_i' X_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{Pi} \alpha_{ij} ef + \sum_{j=-qi}^{pi} \gamma_{ij} X_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t} \qquad (8).$$

En la ecuación 5 y 6, los parámetros β, ω y π son los parámetros a ser estimados, el término ECT_{t-1} es el vector de cointegración de equilibrio de largo plazo, $\varepsilon_{i,t}$ es el término de error aleatorio. En la ecuación 7 y 8 $t = 1, \ldots, T$ son los periodos de tiempo, $i = 1, \ldots, N$ el número de países y el término d_t es el componente determinístico.

5.3 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

La siguiente investigación seguirá el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar el tema de la investigación y delimitar la temática de estudio.
2. Armar el marco teórico de la investigación, tomando en cuenta las bases teóricas y las investigaciones empíricas que sirvan de antecedentes.
3. Definir los criterios de la metodología a seguir, estableciendo el tipo, los métodos y las técnicas de investigación a utilizarse.
4. Examinar la información descriptiva, tomando en cuenta las observaciones necesarias que apoyen la teoría existente y generar las conclusiones y recomendaciones finales del presente estudio.
5. Realizar las respectivas revisiones y correcciones necesarias con el tutor asignado y elaborar el informe escrito de la investigación para su presentación.

g) ESQUEMA DE CONTENIDOS

A continuación, se presenta el esquema de contenidos del presente trabajo investigativo:

a) Tema
b) Resumen
   Abstract
c) Introducción
d) Revisión de la literatura
e) Materiales y métodos
f) Resultados
g) Discusión
h) conclusiones
i) Recomendaciones
j) Bibliografía
k) Anexos

h) CRONOGRAMA

La investigación tendrá una duración de 6 meses, a partir del mes de octubre del 2018, de acuerdo al siguiente cronograma de actividades:

		Tiempos estimados																									
		2018												**2019**													
		Octubre				**Noviembre**				**Diciembre**				**Enero**				**Febrero**				**Marzo**				**Abril**	
N°	**Actividades**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**
1	**Elección y planteamiento del tema**																										
2	**Elaboración del proyecto**																										
3	**Revisión y corrección del proyecto**																										
4	**Aprobación del proyecto**																										
5	**Revisión de la literatura**																										
6	**Recolección y elaboración de la base de datos**																										
7	**Análisis de resultados**																										
8	**Redacción de conclusiones y recomendaciones**																										
9	**Petición de audiencia**																										
10	**Exposición privada**																										
11	**Corrección de la tesis**																										
12	**Presentación de la versión final de la tesis**																										
13	**Exposición pública**																										

i) PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO

La investigación, tendrá un costo de $ 412.13 como se detalla en la siguiente tabla:

1. PRESUPUESTO

RUBROS DE GASTOS	VALOR TOTAL (dólares)
Flash Memory	$ 12.00
Impresiones B/N	$ 30.00
Impresiones a color	$ 45.00
Anillados	$ 15.00
Carpetas	$ 10.00
Internet (mes)	$ 120.30
Copias	$ 12.00
Esferográficos	$ 1.20
Transporte (Taxi)	$ 12.00
Energía eléctrica	$ 60.00
Empastado del proyecto final	$ 75.00
Imprevistos	$ 19.63
TOTAL	**$ 412.13**

2. FINANCIAMIENTO

La presente investigación, será financiada en su totalidad (100%) con recursos propios.

BIBLIOGRAFÍA

Achkar, M. (2005). Indicadores de sustentabilidad. *Ordenamiento ambiental del territorio. Montevideo: DIRAC Facultad deficiencias*.

Azqueta, D., Ramírez, A., & Villalobos, D. (2007). *Introducción a la economía ambiental* (No. 333.70972 I5).

Banco Mundial. (2018). Los indicadores del desarrollo mundial. Washington D.C. Recuperado de https://datos.bancomundial.org/

Bello, M. O., Solarin, S. A., & Yen, Y. Y. (2018). The impact of electricity consumption on CO 2 emission, carbon footprint, water footprint and ecological footprint: The role of hydropower in an emerging economy. *Journal of environmental management*, *219*, 218-230.

CEPAL, N. (2015). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.

Cohen, G., Jalles, J. T., Loungani, P., & Marto, R. (2018). The long-run decoupling of emissions and output: Evidence from the largest emitters. *Energy Policy*, 118, 58–68.

Cherniwchan, J. (2012). El crecimiento económico, la industrialización y el medio ambiente. *Economía de recursos naturales y energéticos*, 34(4), 442-467.

EDGAR, 2018. The Emissions Database for Global Atmospheric Research. Recuperado de: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=CO2andGHG1970-2016&dst=CO2emi#

Fernández, Y. F., López, M. F., & Blanco, B. O. (2018). Innovation for sustainability: The impact of R&D spending on CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 3459-3467.

Foro Nuclear. (2015). *Las emisiones de CO2 en el mundo, en un informe de la Fundación Empresa y Clima*. Recuperado de https://www.foronuclear.org/es/noticias/ultimas-noticias/123185-informe-sobre-las-emisiones-de-co2-en-el-mundo.

Gonzalez, R. (2012). *Emisiones de CO2.*. Recuperado de https://twenergy.com/a/emisiones-de-co2-458.

Red global de la huella. (2018). Avanzando la ciencia de la sostenibilidad. Network, G.F. Recuperado de https://www.footprintnetwork.org/

Hajilary, N., Shahi, A., & Rezakazemi, M. (2018). Evaluation of socio-economic factors on CO 2 emissions in Iran: Factorial design and multivariable methods. *Journal of Cleaner Production*, 189, 108–115.

Iwata, H., Okada, K., & Samreth, S. (2010). Estudio empírico sobre la curva ambiental de Kuznets para el CO 2 en Francia: el papel de la energía nuclear. *La política energética*, 38(8), 4057-4063.

Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Olivier, J. G., & Schure, K. M. (2017). Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries. *Joint Research Center: Brussels, Belgium*.

Labra, R., & Torrecillas, C. (2014). Guía CERO para datos de panel. Un enfoque práctico. *UAM-Accenture Working Papers*, *16*(1), 57.

Liu, X., & Bae, J. (2018). La urbanización e industrialización, el impacto de las emisiones de CO 2 en China. *Journal of Cleaner Production*, 172, 178-186.

Lu, Z. N., Chen, H., Hao, Y., Wang, J., Song, X., & Mok, T. M. (2017). The dynamic relationship between environmental pollution, economic development and public health: evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, *166*, 134-147.

Naciones Unidas. (2015). Convenio sobre el Cambio Climático, C. M. (2015). *Acuerdo de París sobre el Cambio Climático*. Recuperado de https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

Mayorga, M., & Muñoz, E. (2000). La técnica de datos de panel una guía para su uso e interpretación. *Banco Central de Costa Rica. Departamento de investigaciones económicas*.

Meliá, D. J. M. (2005). La innovación, concepto e importancia económica. In *VI Congreso de Economía de Navarra*.

Mohorte. A., (21 de junio de 2017). Este mapa muestra en tiempo real cuánto CO2 está emitiendo cada país en cada momento. [online] World Economic Forum. Disponible en: https://es.weforum.org/agenda/2017/06/este-mapa-muestra-en-tiempo-real-cuanto-co2-esta-emitiendo-cada-pais-en-cada-momento.

Montero. R (2013): *Variables no estacionarias y cointegración.* Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada. España.

National Geographic. (2010). ¿Qué es el calentamiento global?. Recuperado de https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global

Organización Mundial de la Salud (OMS). (1 de febrero, 2018). Cambio climático y salud [Nota descriptiva]. Recuperado de http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cambio-clim%c3%a1tico-y-salud

Pérez, F., & Fernández, H. (2009). Econometría. *Conceptos básicos. Medellín: Ecoe Ediciones*.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2018). *Objetivos de desarrollo Sostenible*. Recuperado de http://www.undp.org./content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html

Schumpeter, J. A., (1934). The theory of economic development: An inquiry into profits. Capital, credit, interest, and the business cycle, 55. Transaction publishers.

SeResponsable. (17 de abril de 2017). *La huella ecológica mundial: país por país* [Mensaje de Blog]. Recuperado de https://www.seresponsable.com/mapa-verde/

Solow, R. M., (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. Rev. Econ. Stat.39-3, 312-320.

Stern, N. H., (2007). The economics of climate change: the Stern review. Cambridge University Press.

UNESCO. (2018). Estadística. Recuperado de: https://es.unesco.org/

Wackernagel, M., Lin, D., Hanscom, L., Galli, A., & Iha, K. (2019). Ecological Footprint. *Encyclopedia of Ecology*, *4*(2), 270-282.

6. ANEXO 2

PAÍSES UTILIZADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN

Tabla 13. Lista de países utilizados en las estimaciones, clasificados en regiones

AO,P	***N,E,AC***	***AL,C***	***MO,AN***	***AS***	***ASub***
Australia	Armenia	Argentina	Egipto.	India	Burkina Faso
China	Austria	Brasil	Irán,.	Pakistán	Congo, Rep.
Japón	Azerbaijan	Chile	Iraq	Sri Lanka	Madagascar
Corea	Belarus	Colombia	Israel		Mauritius
Malaysia	Belgium	Costa Rica	Kuwait		Sudáfrica
Mongolia	Bermuda	Ecuador	Malta		Uganda
Nueva Zelanda	Bosnia y Herzegovina	El Salvador	Tunez		
Philippines	Bulgaria	Guatemala			
Singapore	Canadá	México			
Thailand	Croatia	Panamá			
Vietnam	Cyprus	Paraguay			
	Republica Checa	Perú			
	Denmark	Trinida y Tobago			
	Estonia	Uruguay			
	Finlandia	Venezuela, RB			
	France				
	Germany				
	Greece				
	Hungary				
	Ireland				
	Italy				
	Kazakhstan				
	Kyrgyz Republic				
	Latvia				
	Lithuania				
	Luxembourg				
	Moldova				
	Netherlands				
	Norway				
	Poland				
	Portugal				
	Romania				
	Russian Federation				
	Slovenia				
	Spain				
	Sweden				
	Switzerland				
	Tajikistan				
	Turkey				
	Ukraine				
	United Kingdom				
	United States				
	Uzbekistan				

7. ANEXO 3

Tabla 14. Correlación serial de las variables

	GLOBAL	*AO,P*	*N,E,AC*	*AL,C*	*MO,AN*	*AS*	*ASub*
I+D - CO2	0.77*	0.73*	0.74*	0.45*	0.48*	0.81*	0.91*
I+D – He	0.78*	0.58*	0.83*	0.37*	0.66*	-0.05	0.95*
CO2 - He	0.84*	0.88*	0.90*	0.68*	0.74*	-0.24	0.95*

8. ANEXO 4

TEST DE HUSMAN ENTRE LAS EMISIONES DE CO2 Y EL GASTO EN I+D

Tabla 15. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios a nivel global

.estimates store re1

.hausman fe1 re1

	---- Coefficients ----			
	(b)	*(B)*	*(b-B)*	*sqrt(diag(V_b-V_B))*
	fe1	*re1*	*Difference*	*S.E.*
lrd	*.1153063*	*.1308579*	*-.0155516*	*.0002992*

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 2700.85
Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos fijos.

Tabla 16. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Asia Oriental y el Pacífico

. estimates store ha2

. hausman ha1 ha2

	---- Coefficients ----			
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	ha1	ha2	Difference	S.E.
lrd	. 2659554	.2711747	-.0052193	.0060262

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 0.75
Prob>chi2 = 0.3864

Dado que (Prob >Chi2 es 0.3864) es mayor a 0,05 se acepta la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos aleatorios.

Tabla 17. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Norteamérica, Europa y Asia Central

.estimates store ha4

.hausman ha3 ha4

	---- Coefficients ----			
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	ha3	ha4	Difference	S.E.
lrd	.1053021	.1207866	-.0154845	.0026496

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 34.15
Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos fijos.

Tabla 18. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de América Latina y el Caribe

. estimates store ha6

.hausman ha5 ha6

	---- Coefficients ----			
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	ha5	ha6	Difference	S.E.
lrd	.1292877	.1314601	-.0021724	.0016147

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 1.81
Prob>chi2 = 0.1785

Dado que (Prob >Chi2 es 0.1785) es mayor a 0,05 se acepta la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos aleatorios.

Tabla 19. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Medio Oriente y África del Norte

.estimates store ha8

.hausman ha7 ha8

	---- Coefficients ----			
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	ha7	ha8	Difference	S.E.
lrd	-.0057025	-.0018817	-.0038208	.0020442

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 3.49
Prob>chi2 = 0.0616

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0616) es mayor a 0,05 se acepta la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos aleatorios.

Tabla 20. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región Asia del Sur

.estimates store ha10

.hausman ha9 ha10

	---- Coefficients ----			
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	ha9	ha10	Difference	S.E.
lrd	.2796672	.2936186	-.0139514	.0071139

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 3.85
Prob>chi2 = 0.0499

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0499) es menor a 0,05 se rechaza la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos fijos.

Tabla 21. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de África Sub-sahariana

.estimates store ha12

.hausman ha11 ha12

	---- Coefficients ----		
	(b)	(B)	(b-B)
	ha11	ha12	Difference
lrd	-.0586587	.0059468	-.0646055

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= -11.19
chi2<0 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos fijos.

9. ANEXO 5

TEST DE HUSMAN ENTRE LA HUELLA ECOLÓGICA Y EL GASTO EN I+D

Tabla 22.. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios a nivel global
.estimates store re2

.hausman fe2 re2

	---- Coefficients ----			
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	fe2	re2	Difference	S.E.
lrd	.0606264	.0898273	-.0292009	.0026855

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 118.23
Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos fijos.

Tabla 23. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Asia Oriental y el Pacífico
.estimates store rg2

.hausman rg1 rg2

	---- Coefficients ----			
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	rg1	rg2	Difference	S.E.
lrd	.1705406	.1716372	-.0010966	.0028766

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 0.15
Prob>chi2 = 0.7030

Dado que (Prob >Chi2 es 0.7030) es mayor a 0,05 se acepta la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos aleatorios.

Tabla 24. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Norteamérica, Europa y Asia Central

.estimates store rg4

.hausman rg3 rg4

	---- Coefficients ----			
	(b) rg3	(B) rg4	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
lrd	.0740389	.1060901	-.0320512	.003873

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 68.49
Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos fijos.

Tabla 25. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de América Latina y el Caribe

.estimates store rg6

.hausman rg5 rg6

	---- Coefficients ----			
	(b) rg5	(B) rg6	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
lrd	.0041854	.0133018	-.0091164	.0051728

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)

= 3.11
Prob>chi2 = 0.0780

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0780) es mayor a 0,05 se acepta la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos aleatorios.

Tabla 26. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Medio Oriente y África del Norte

.estimates store rg8

.hausman rg7 rg8

	---- Coefficients ----			
	(b) rg7	(B) rg8	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
lrd	-.0890068	-.0137479	-.0752589	.0181916

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 17.11
Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos fijos.

Tabla 27. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Asia del Sur

.estimates store rg10

.hausman rg9 rg10

	---- Coefficients ----			
	(b) rg9	(B) rg10	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
lrd	.1174325	.116606	.0008265	.0031296

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 0.07
Prob>chi2 = 0.7917

Dado que (Prob >Chi2 es 0.7917) es mayor a 0,05 se acepta la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos aleatorios.

.

Tabla 28. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de África Sub-sahariana

. estimates store rg12

.hausman rg11 rg12

	---- Coefficients ----			
	(b) rg11	(B) rg12	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
lrd	.0596274	.1571445	-.0975171	.0052936

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= 339.36
Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho; y se asume la estimación de un modelo de efectos fijos.

10. ANEXO 6

PRUEBAS DE HETEROCEDASTICIDAD Y AUTOCORRELACIÓN ENTRE LAS EMISIONES DE CO2 Y EL GASTO EN I+D

Prueba de autocorrelación de Wooldridge a nivel global

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 84) = 225.936

Prob > F = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald a nivel global

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (85) = 25131.64

Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de Asia Oriental y el Pacífico

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 10) = 22.214

Prob > F = 0.0008

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0008) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de Asia Oriental y el Pacífico

Test: Var(u) = 0

chibar2(01) = 1866.99

Prob > chibar2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de Norteamérica, Europa y Asia Central

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 42) = 126.648

Prob > F = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de Norteamérica, Europa y Asia Central

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity

in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (43) = 7683.32

Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de América Latina y el Caribe

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 14) = 38.273

Prob > F = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de América Latina y el Caribe

Test: Var(u) = 0

chibar2(01) = 2851.98

Prob > chibar2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de Medio Oriente y África del Norte

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 6) = 26.158

Prob > F = 0.0022

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0022) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de Medio Oriente y África del Norte

Test: Var(u) = 0

chibar2(01) = 1284.20

Prob > chibar2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de Asia del Sur

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 2) = 7.054

Prob > F = 0.1173

Dado que (Prob >Chi2 es 0.1173) es mayor a 0,05 se acepta la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo no presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de Asia del Sur

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model
H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i
chi2 (3) = 11.53
Prob>chi2 = 0.0092

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0092) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de África Sub-sahariana.

Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
F(1, 5) = 23.078
Prob > F = 0.0049

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0049) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de África Sub-sahariana.

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model
H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i
chi2 (6) = 5278.30
Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

11. ANEXO 7

PRUEBAS DE HETEROCEDASTICIDAD Y AUTOCORRELACIÓN ENTRE LA HUELLA ECOLOGICA Y EL GASTO EN I+D

Prueba de autocorrelación de Wooldridge a nivel global

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 84) = 35.276

Prob > F = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald a nivel global

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity

in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (85) = 23204.20

Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de Asia Oriental y el Pacífico

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 10) = 10.934

Prob > F = 0.0079

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0079) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de Asia Oriental y el Pacifico

Test: Var(u) = 0

chibar2(01) = 2077.02

Prob > chibar2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de Norteamérica, Europa y Asia Central

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 42) = 20.330

Prob > F = 0.0001

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0001) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de Norteamérica, Europa y Asia Central

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity

in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (43) = 6291.70

Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de América Latina y el Caribe

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 14) = 16.452

Prob > F = 0.0012

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0012) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de América Latina y el Caribe

Test: Var(u) = 0

chibar2(01) = 1814.70

Prob > chibar2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de Medio Oriente y África del Norte

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 6) = 14.410

Prob > F = 0.0090

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0090) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de Medio Oriente y África del Norte

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity

in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (7) = 2710.18

Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de Asia del Sur

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 2) = 41.566

Prob > F = 0.0232

Dado que (Prob >Chi2 es 0.232) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de Asia del Sur

Test: Var(u) = 0

chibar2(01) = 407.96

Prob > chibar2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

Prueba de autocorrelación de Wooldridge de la región de África Sub-sahariana.

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 5) = 0.462

Prob > F = 0.5267

Dado que (Prob >Chi2 es 0.5267) es mayor a 0,05 se acepta la Ho de no autocorrelación y se concluye que el modelo no presenta el problema de autocorrelación.

Prueba de heterocedasticidad de Wald de la región de África Sub-sahariana.

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity

in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6) = 113.18

Prob>chi2 = 0.0000

Dado que (Prob >Chi2 es 0.0000) es menor a 0,05 se rechaza la Ho de Homocedasticidad y se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA i

CERTIFICACIÓN ii

AUTORÍA iii

CARTA DE AUTORIZACIÓN iv

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTO vi

ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN vii

ESQUEMA DE CONTENIDOS ix

a. TÍTULO 1

b. RESUMEN 2

ABSTRACT 3

c. INTRODUCCIÓN 4

d. REVISIÓN DE LA LITERATURA 9

1. ANTECEDENTES 9

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 13

2.1. CAMBIO CLIMÁTICO 13

2.1.1.Efecto invernadero 13

2.2. HUELLA ECOLÓGICA 14

2.2.1. Cálculo de la huella ecológica 15

2.2.2. Importancia de la huella ecológica 16

2.2.3. Principales ventajas de la huella ecológica 17

2.3. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO 17

2.3.1.Indicadores de I+D 18

2.2.2. Gasto Nacional Bruto en I+D 19

2.2.3. Gasto Interno Bruto en I+D 19

3. EVIDENCIA EMPÍRICA 19

4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL **22**

e. MATERIALES Y MÉTODOS **27**

1. MATERIALES **27**

2. TIPO DE INVESTIGACIÓN **27**

2.1. Explorativa 27

2.2. Descriptiva 27

2.3. Correlacional 27

3. MÉTODOS **28**

3.1. Inductivo 28

3.2. Deductivo 28

3.3. Analítico 28

3.4. Sintético 28

3.5. Estadístico 28

4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS **28**

4.1. Técnicas 28

5. Instrumentos **29**

5.1. Ficha bibliográfica 29

5.2. Paquetes de software estadísticos 29

6. TRATAMIENTO DE LOS DATOS **29**

6.1. ANÁLISIS DE DATOS 29

6.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 31

6.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN 35

f. RESULTADOS **36**

1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1 **36**

1.1. EVOLUCIÓN POR GRUPOS DE REGIONES DE LAS EMISIONES DE CO2, LA HUELLA ECOLÓGICA Y EL GASTO EN I+D 36

1.2. CORRELACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO2 Y EL GASTO EN I+D 44

1.3. Representaciones gráficas asociadas a la degradación ambiental a nivel mundial 47

2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2 **52**
2.1. RELACIÓN DE LARGO PLAZO ENTRE LAS VARIABLES 54
2.2. RELACIÓN DE CORTO PLAZO ENTRE LAS VARIABLES 63
3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3 **64**
g. DISCUSIÓN DE RESULTADOS **66**
1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1 **66**
2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2 **67**
3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3 **71**
h. CONCLUSIONES **74**
i. RECOMENDACIONES **76**
j. BIBLIOGRAFÍA **78**
k. ANEXOS **87**
ANEXO 1 **87**
ANEXO 2 **111**
ANEXO 3 **112**
ANEXO 4 **112**
ANEXO 5 **116**
ANEXO 6 **120**
ANEXO 7 **124**
ÍNDICE DE CONTENIDO **129**
ÍNDICE DE TABLAS **132**
ÍNDICE DE FIGURAS **134**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las variables 30

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las variables del modelo 31

Tabla 3. Resultados de línea base entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D..... 52

Tabla 4. Resultados de línea base entre las emisiones la huella ecológica y el gasto en I+D..... 53

Tabla 5. Pruebas de raíz unitaria..... 54

Tabla 6. Resultado del test de cointegración de Pedroni entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D..... 55

Tabla 7. Resultados del test de cointegración de Pedroni entre la huella ecológica y el gasto en I+D 56

Tabla 8. Resultados de prueba de panel PDOLS por grupos de países 57

Tabla 9. Resultados de prueba de panel DOLS para los países de forma individual entre las emisiones de CO2 y el gasto en I+D..... 59

Tabla 10. Resultados de prueba de panel DOLS para los países de forma individual entre la huella ecológica y el gasto en I+D..... 61

Tabla 11. Resultados del modelo de corrección de error VECM de Westerlund..... 63

Tabla 12. Resultados de las pruebas de causalidad de Granger basadas en Dumitrescu y Hurlin..... 64

Tabla 13. Lista de países utilizados en las estimaciones, clasificados en regiones 111

Tabla 14. Correlación serial de las variables 112

Tabla 15. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios a nivel global 112

Tabla 16. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Asia Oriental y el Pacífico 113

Tabla 17. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Norteamérica, Europa y Asia Central 113

Tabla 18. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de América Latina y el Caribe 114

Tabla 19. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Medio Oriente y África del Norte 114

Tabla 20. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región Asia del Sur 115

Tabla 21. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de África Sub-sahariana 115

Tabla 22.. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios a nivel global 116

Tabla 23. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Asia Oriental y el Pacífico 116

Tabla 24. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Norteamérica, Europa y Asia Central 117

Tabla 25. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de América Latina y el Caribe 117

Tabla 26. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Medio Oriente y África del Norte 118

Tabla 27. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de Asia del Sur 118

Tabla 28. Test de Hausman efectos fijos- efectos aleatorios de la región de África Sub-sahariana 119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cobertura geográfica de la investigación viii

Figura 2. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para 85 países del mundo..... 36

Figura 3. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de Asia Oriental y el Pacífico. 38

Figura 4. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de Norteamérica, Europa y Asia Central. 39

Figura 5. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de América Latina y el Caribe 40

Figura 6. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de Medio oriente y África del Norte. 41

Figura 7. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de Asia del Sur..... 42

Figura 8. Evolución de las emisiones de CO2, la huella ecológica y el gasto en I+D para la región de África Sub-Sahariana. 43

Figura 9. Correlación entre el logaritmo de las emisiones de CO2 y el logaritmo del gasto en I+D 44

Figura 10. Correlación entre el logaritmo de la huella ecológica y el logaritmo del gasto en I+D. 46

Figura 11. Emisiones de CO2 y gasto en I+D per cápita a nivel mundial. 48

Figura 12. Huella ecológica y gasto en I+D per cápita a nivel mundial 50