



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD JURÍDICA, SOCIAL Y ADMINISTRATIVA

CARRERA DE ECONOMÍA

TÍTULO:

“Relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador: un análisis de cointegración con series de tiempo, periodo 1970-2015”

Tesis previa a la obtención del grado de economista

AUTOR: Yajaira Stefania Pinzón Becerra

DIRECTOR DE TESIS: Econ. Patricia Yolanda Guerrero Riofrío Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2021



Loja, 31 de marzo de 2021

CERTIFICACIÓN

Econ. Patricia Yolanda Guerrero Riofrío docente de la carrera de Economía de la Universidad Nacional de Loja certifica:

Que el trabajo de tesis titulado **“RELACIÓN ENTRE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y CONSUMO DE ENERGÍA NO RENOVABLE E IMPLEMENTACIÓN DE POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ECUADOR: UN ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN CON SERIES DE TIEMPO, PERIODO 1970-2015”**, desarrollado por la Srta. **Yajaira Stefania Pinzón Becerra**, estudiante egresada de la Carrera de Economía, previo a la obtención del Grado de Economista, ha sido realizado bajo mi dirección, control y supervisión, cumpliendo con los requerimientos establecidos en el Reglamento de Régimen Académico de la Universidad Nacional de Loja, la misma que ha sido culminada satisfactoriamente con un avance del 100%, motivo por el cual autorizo su presentación para que continúe con los trámites respectivos.

Esto es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.



Firmado electrónicamente por:
**PATRICIA YOLANDA
GUERRERO RIOFRIO**

Econ. Patricia Yolanda Guerrero Riofrío MSc.
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Yajaira Stefania Pinzón Becerra, declaro ser autora del presente trabajo de Tesis, titulada **“Relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador: un análisis de cointegración con series de tiempo, periodo 1970-2015”**, 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.

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

Autor: Yajaira Stefania Pinzón Becerra

Firma:

Cédula: 1106065053

Fecha: Loja, 24 de junio de 2021

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

Yo, Yajaira Stefania Pinzón Becerra, declaro ser el autor de la Tesis titulada “**Relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador: un análisis de cointegración con series de tiempo, periodo 1970-2015**”, como requisito para optar por 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, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional. 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 convenido la Universidad. 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 24 días del mes de junio del dos mil veinte uno, firma la autora.

Firma:

Autor: Yajaira Stefania Pinzón Becerra

Cédula: 1106065053

Dirección: Saucos Norte, Loja

Correo electrónico: yajaira.pinzon@unl.edu.ec

Teléfono: 0939375832

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de tesis: Econ. Patricia Yolanda Guerrero Riofrío, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Econ. Wilfrido Ismael Torres Ontaneda, Mg. Sc.

Econ. Jorge Eduardo Flores Chamba, Mg. Sc.

Econ. Roberto Felipe Erazo Castro, Mg. Sc.

Presidente

Vocal 1

Vocal 2

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este trabajo a Dios porque “En él vivimos, nos movemos y existimos”, toma nuestros sueños, trabaja con nosotros y nos da más de lo que esperamos. A la Virgen María por ser nuestra madre protectora que guía nuestros pasos en cada instante de nuestra vida. Seguidamente, dedico a aquella mujer que, con espíritu de entrega, amor infinito, paciencia y perseverancia; siempre ha estado ahí, apoyándome, me refiero con todo el cariño a mi Mamá, un logro más que alcanzó y que tengo para ofrecerle. A mi papá que siempre ha trabajado y me apoyado, para que yo pueda cumplir con mis metas. A mis hermanas Janeth, Josselyn y a mis queridas pequeñas Maritza y Yesenia que hasta el momento ha sido, un camino tan lindo de recorrer junto a ellas, por cada una de las sonrisas y el amor infinito que nos une. A mi hermano Santiago Andrés que tengo la dicha de contar con el siempre.

Yajaira Stefania

AGRADECIMIENTO

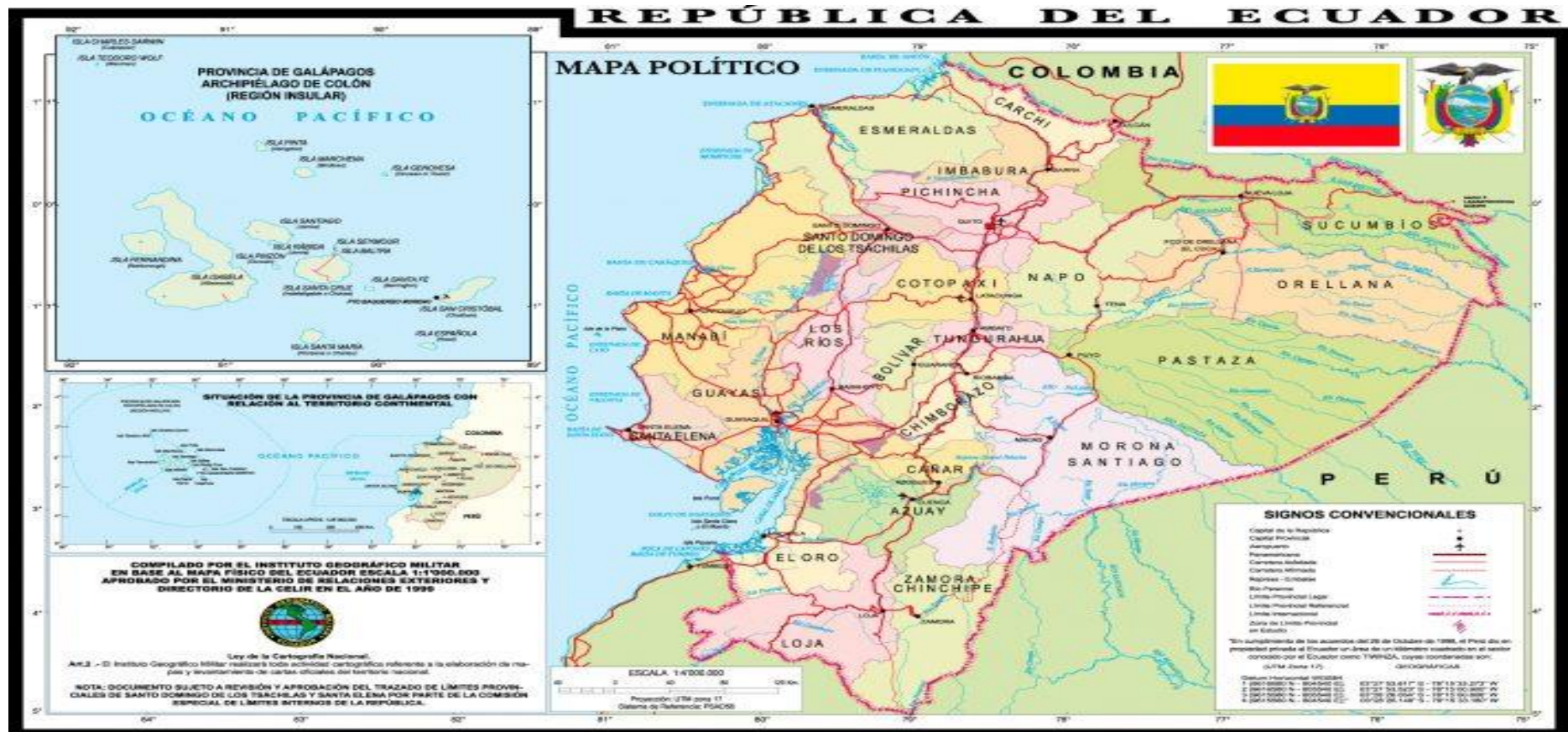
A Dios, por todas las gracias recibidas y por enseñarme que con amor todas las cosas se hacen posibles. A la Virgencita del Cisne la más sublime, por ser modelo de fe, mujer por excelencia que me inspira a seguir adelante. A mi familia por su confianza depositada en mí y porque siempre he recibido su apoyo incondicional en cada una de las situaciones que la vida me ha presentado. A la Universidad Nacional de Loja, docentes, y amigos que he conocido en esta etapa de la vida, por su guía, consejos y amistad sincera. A la Economista Patricia Guerrero que con acertada dirección ha sabido guiarme para la realización de este trabajo de investigación, por su labor como docente es digno de admiración y respeto. A todos ellos, mis más sinceros agradecimientos.

Yajaira Stefania

ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN												
BIBLIOTECA: Facultad Jurídica, Social y Administrativa												
TIPO DE DOCUMENTO	AUTOR/NOMBRE DEL DOCUMENTO	FUENTE	FECHA AÑO	ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN							OTRAS DEGRADACIONES	NOTAS OBSERVACIÓN
				INTERNACIONAL	NACIONAL	REGIONAL	PROVINCIA	CANTÓN	PARROQUIA			
TESIS	Yajaira Stefania Pinzón Becerra “Relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador: un análisis de cointegración con series de tiempo, periodo 1970-2015”	UNL	2020	--	Ecuador	--	--	--	--	--	CD	Economista

Figura 1

Mapa de cobertura



Nota: Adaptado del Instituto Geográfico Militar (2020)

ESQUEMA DE CONTENIDOS

a. TÍTULO	2
b. RESUMEN	3
c. INTRODUCCIÓN.....	5
d. REVISIÓN DE LITERATURA	11
e. MATERIALES Y MÉTODOS	29
f. RESULTADOS	40
g. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXOS	97

a. TÍTULO

“RELACIÓN ENTRE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y CONSUMO DE ENERGÍA NO RENOVABLE E IMPLEMENTACIÓN DE POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ECUADOR: UN ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN CON SERIES DE TIEMPO, PERIODO 1970-2015”

b. RESUMEN

La contaminación ambiental está relacionada en gran parte con las actividades económicas como la producción agrícola e industrial y el consumo de energía. Los combustibles fósiles continúan siendo la columna vertebral del sistema energético mundial, el nivel de contaminación liberado a la atmósfera sigue aumentando significativamente. En Ecuador, las emisiones de CO₂, fueron de 40,54 millones de toneladas, derivadas de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía y cemento, adicionalmente a ello, una persona promedio emitió un total de 2,33 toneladas CO₂/año (Our World in Data, 2019). Por tal razón, el objetivo general de esta investigación fue examinar la relación entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador, mediante un estudio econométrico, con el propósito de analizar la dinámica de corto y largo plazo entre las variables durante el periodo 1970-2015. Los datos fueron obtenidos de los Indicadores de Desarrollo Mundial (2020) y se empleó técnicas de cointegración de series de tiempo, entre ellas, modelos de Vectores Autorregresivos (VAR), de Corrección de Error (VEC) y la prueba de causalidad de Granger. De acuerdo, con los resultados se comprobó la presencia de una relación de equilibrio de corto y largo plazo entre el consumo de energía no renovable y la contaminación ambiental; además, se evidenció una relación causal entre las variables de estudio. Por lo tanto, las políticas deben direccionarse al uso de energía de fuentes renovables, porque facilita no solo el proceso de generación de energía verde, sino que también contribuye a un crecimiento económico sustentable.

Palabras claves: Contaminación ambiental, Consumo de energía no renovable, Eficiencia Energética, Ecuador.

Clasificación JEL: Q53, Q32, Q42, O50

ABSTRACT

Environmental pollution is largely related to economic activities such as agricultural and industrial production and energy consumption. Fossil fuels continue to be the backbone of the global energy system, the level of pollution released into the atmosphere continues to increase significantly. In Ecuador, CO₂ emissions were 40,54 million tons, derived from the burning of fossil fuels for the production of energy and cement, in addition to this, an average person emitted a total of 2,33 tons CO₂ / year (Our World in Data, 2019). For this reason, the general objective of this research was to examine the relationship between environmental pollution and non-renewable energy consumption and implementation of energy efficiency policies in Ecuador, through an econometric study, with the purpose of analyzing the dynamics of short and long-term between the variables during the period 1970-2015. The data were obtained from the World Development Indicators (2020) and time series cointegration techniques were used, among them, Vector Autoregressive (VAR), Error Correction (VEC) models and the Granger causality test. According to the results, the presence of a short-term and long-term equilibrium relationship between non-renewable energy consumption and environmental pollution was verified; Furthermore, a causal relationship was evidenced between the study variables. Therefore, policies should be directed to the use of energy from renewable sources, because it facilitates not only the process of generating green energy, but also contributes to sustainable economic growth.

Key words: Environmental pollution, Non-renewable energy consumption, Energy Efficiency, Ecuador.

JEL classification: O4, Q1, C32, O50.

c. INTRODUCCIÓN

El aumento de la contaminación ambiental se debe principalmente a la concentración de los gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que se producen por acción antropogénica, particularmente el dióxido de carbono (CO₂), su causa fundamental son las fuentes fósiles (carbón, gas y petróleo) de la matriz energética sobre la cual se ha edificado la civilización industrial (León, 2017). Según, autores como Águila et al. (2011); mencionan que la producción de energía y el estado del medio ambiente están íntima e indisolublemente relacionados, en el sentido que, el ser humano recurre a la naturaleza siempre en busca de recursos para su subsistencia; afirman que ninguna civilización ha sido ecológicamente inocente; por lo tanto, no se puede establecer ni mantener desarrollo sostenido y sostenible sin un consumo de energía suficiente y eficiente.

Las presiones de los medios de vida sustentan la extracción excesiva de recursos naturales y la generación de desechos, especialmente en los países en desarrollo, un rápido aumento de la productividad económica desencadena una gran demanda de recursos naturales y contribuye a la generación de residuos, con mayores consecuencias sobre el medio ambiente, lo que conduce al cambio climático; el efecto a largo plazo de la sinergia entre el consumo de recursos naturales y la sostenibilidad ambiental varía de un país a otro en función de la estructura económica (Sarkodie, 2021). En este siglo, el agotamiento acelerado de los recursos naturales y la enorme destrucción ecológica han afectado gravemente el crecimiento económico mundial, el bienestar social y las mejoras en la salud humana (Yue et al., 2019).

Así mismo, Nadal y Aguayo (2020) manifiestan que, el deterioro ambiental se encuentra profundamente relacionado con la naturaleza y la dinámica del sistema económico, que son provocados por las fuerzas económicas y las políticas que determinan el rumbo de la economía, así como su ritmo de actividad; el impacto negativo de la actividad humana sobre el medio ambiente se concibe, en la perspectiva convencional, como una externalidad negativa

del crecimiento económico y la dinámica poblacional. Cuando el ingreso per cápita aumenta, mayor es el nivel de consumo de materias primas y de energía, con el aumento de la población se generan mayores cantidades de residuos, en la actualidad la migración y la urbanización, conlleva implicaciones importantes en términos de patrones de consumo y desarrollo de mercados (Falconí et al., 2016).

En la actualidad, China es el país que genera más toneladas de dióxido de carbono (CO₂), pero a lo largo de la historia, Estados Unidos ha sido el mayor emisor, según, el Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono determinó que durante el periodo 1850-2011, Estados Unidos fue responsable del 27% de las emisiones de CO₂ en el mundo; mientras que, la temperatura global aumento en 1°C entre 1880 y 2015, sin embargo, el alza no es igual en todos lados: se incrementa en los continentes y en los polos; las tres últimas décadas han sido las más calurosas desde 1850 y la temperatura en los océanos se ha elevado 0,11° Celsius entre 1971 y 2010 (Ovalle, 2018). Se estima que el 20% de la población mundial consume cerca del 80% de los recursos energéticos del planeta y por eso el 20% de la población en nuestro planeta es responsable del 50% de las emisiones de gases invernadero (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2016).

Las emisiones de GEI generan una diversidad de problemas a diferentes escalas: en el ámbito global, se relacionan con el efecto invernadero, el calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono y la lluvia ácida; en el ámbito regional, con los fenómenos de oxidación fotoquímica que generan el smog; y en el ámbito local, son responsables de enfermedades respiratorias en la población (Lecaros y Viale, 2008). Por otra parte, en un estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) señala que alrededor de siete millones de personas mueren por la exposición a partículas de aire contaminado, que causó alrededor de 4,2 millones muertes en 2016, mientras que los gases expulsados por las cocinas caseras que

utilizan carbón u otros combustibles fósiles provocaron 3,8 millones, más del 90% de las muertes relacionadas con la mala calidad del aire ocurre en países de ingresos bajos.

Las emisiones totales de los GEI de Ecuador ascienden a 80.627,16 (Gg de CO₂-eq)¹, de los cuales el sector Energía genera el mayor aporte con el 46,63% de dichas emisiones, seguido del sector del Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) con el 25,35% de las emisiones totales netas, el tercer lugar lo ocupa el sector Agricultura con el 18,17% de los GEI emitidos a la atmósfera, los sectores Procesos industriales y Residuos representan en conjunto el 10% aproximadamente de las emisiones del país, registrando el 5,67% y 4,19%, en cada caso; además, las emisiones totales de dióxido de carbono (CO₂) provienen principalmente del sector USCUSS (49,46%); por su parte, el sector de Energía aportó con 36.512,75 (Gg de CO₂-eq) por la Quema de combustible, representando un 44,92% de las emisiones de este gas; el sector de Procesos industriales generó 4.571,72 (Gg de CO₂-eq) provenientes de la Industria de los minerales, el 5,62% de las emisiones totales de dicho gas (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAE], 2016).

La generación de residuos sólidos es la cuarta causa en el mundo de emisión de GEI con 3% de las emisiones totales (European Environmental Agency [EEA], 2020). En Ecuador las emisiones representan el 0,06 % del total mundial de 910 (Mt CO₂-eq)² (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018). Las emisiones equivalentes en CO₂ son variadas y están presentadas en orden descendente; mayores emisiones se encuentran en los cantones de Quito y Guayaquil con 157 y 150 (kt CO₂-eq)³, respectivamente, seguidos por Cuenca con 35 (kt CO₂-eq), y con emisiones medias están los cantones de Ambato, Santo Domingo, Portoviejo, Machala, Ibarra, Riobamba y Loja (7,27 a 17 kt CO₂-eq.); los demás cantones presentan valores menores a 7,27 (kt CO₂-eq), por ejemplo: Manta, Chone, Cayambe, Lago

¹ Gigagramos de CO₂ Equivalentes, expresados únicamente para los gases indirectos.

² Toneladas métricas de CO₂ Equivalente. Es una medida métrica utilizada para comparar las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero en función de su potencial de calentamiento global (GWP).

³ Kilo toneladas de CO₂ Equivalentes.

Agrio, Rumiñahui y Río Verde; la cantidad de emisiones generadas de GEI dependen de los factores determinantes como son la fracción de carbón orgánico soluble y el potencial de generación de metano; pero, también depende de la fracción de cada material de residuo sólido diferenciado, es decir, del porcentaje que se ha reportado de papel, cartón, textil, etc., (Solíz et al., 2020).

En cuanto a las teorías económicas, no existe una teoría específica en sí, que nos pueda ayudar a enlazar a las dos variables principales de estudio como es la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable, pero si existe evidencia empírica que nos ayudará a sustentar las hipótesis planteadas, entre los autores se encuentran, Khan et al. (2021); Mahalik et al. (2021); Nathaniel y Khan (2020), quienes confirmaron que el papel del consumo de energía no renovable produce un agotamiento de la calidad ambiental y que más de la mitad del efecto invernadero procede de las emisiones de CO₂, y tres cuartas partes de este CO₂ es causado por el uso de combustibles fósiles; si se continúa como hasta ahora, la concentración de CO₂ en la atmósfera, a mediados del siglo XXI será dos veces mayor de lo que era antes en la revolución industrial.

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue examinar la relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador, utilizando datos de los Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI) periodo 1970-2015, para ello se utilizó un modelo econométrico con series de tiempo, donde la variable dependiente es el índice de contaminación obtenido a partir de tres medidas de contaminación: el metano, las emisiones de dióxido de nitroso y el dióxido de carbono, que captura de forma más integral la contaminación del aire; como variable independiente el consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total); variables de control como el consumo de energía renovable (% del consumo total de energía final), Inversión Extranjera

Directa (US\$ a precios constantes de 2010) y PIB per cápita (US\$ a precios constantes de 2010) y como variable dummy la política de eficiencia energética.

Para la realización de la investigación se formuló tres hipótesis que van acorde a los objetivos planteados: 1) Los niveles de contaminación ambiental aumentan como resultado de un mayor consumo de energía no renovable; 2) El consumo de energía no renovable tiene un efecto a corto y largo plazo en la contaminación ambiental en Ecuador; 3) Existe causalidad entre el consumo de energía no renovable y la contaminación ambiental en Ecuador. Así mismo, se toman en cuenta las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿Cómo ha venido evolucionando la contaminación ambiental en relación con el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015?; 2) ¿Cuál es la dinámica de corto y largo plazo entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015?; 3) ¿Cuál es la relación de causalidad entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015?

Se aplicó técnicas de cointegración de series de tiempo, entre ellas se empleó, modelos de Vectores Autorregresivo (VAR) y de Corrección de error (VEC) para verificar la existencia de una relación a largo y corto plazo entre las variables de estudio y para comprobar la causalidad se utilizó la prueba de Granger, con la finalidad de dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos: 1) Analizar la evolución y correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015; 2) Estimar la dinámica de corto y largo plazo entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015; 3) Determinar la relación de causalidad entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015.

Luego de haber dado respuesta a cada uno de los objetivos específicos se pudo identificar que existe una relación positiva entre la contaminación y consumo de energía no

renovable en Ecuador; debido a que, en la matriz energética del Ecuador, el 82% se soporta del consumo de derivados de petróleo, como diésel, gasolina y GLP; así mismo, se valida la hipótesis, de que los niveles de contaminación ambiental se incrementan como resultado de un mayor consumo de energía no renovable; y que, si existe una relación de corto y largo plazo entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable, durante el periodo de análisis. Además, el estudio aporta a la literatura empírica, porque se utiliza un índice que captura de manera más integral la contaminación ambiental.

Finalmente, el presente trabajo de investigación está estructurado de la siguiente manera: en el apartado d) se analiza la revisión de literatura en la cual se describen los antecedentes y evidencia empírica, que están relacionados con el tema de estudio. Además, en el apartado e) se describen los materiales y métodos, que abarca lo referente al análisis de datos y la estrategia econométrica que permitieron el desarrollo de la investigación. Seguidamente, en el apartado f) se presentan los resultados, los cuales fueron sustentados con figuras, tablas y análisis económico, de acuerdo a cada uno de los objetivos planteados. Por otra parte, en el apartado g) se realiza la discusión, donde los resultados evidenciados se comparan con los antecedentes de la teoría económica y la revisión de literatura. Así mismo, en la sección h) se exponen las conclusiones de acuerdo con el cumplimiento de cada objetivo. Posteriormente, en la sección i) se describen las recomendaciones, con la finalidad de sugerir acciones específicas y algunas implicaciones de políticas en base a los resultados obtenidos de la investigación. Por otro lado, en el apartado j) se presenta la bibliografía oportuna y, por último, en la sección k) se incorporan los anexos, que respaldan la investigación.

d. REVISIÓN DE LITERATURA

1. ANTECEDENTES

La degradación ambiental se ha convertido en una temática central de interés, para la sociedad: grupos ambientalistas, políticos, científicos, sector público, etc.; llevando a que la ciencia económica se preocupe por el desarrollo de una teoría que explique la interrelación entre los sistemas: económico y medioambiental, el cual se concentre en los diferentes aspectos del vínculo que existe entre la calidad ambiental y el comportamiento de los agentes económicos de manera individual y colectiva; la preocupación por el medio ambiente surge, no sólo de la constatación de que el desarrollo económico conlleva un deterioro de los recursos naturales, sino también de la convicción de que el deterioro del medio reduce la calidad de vida de los seres vivos.

En un estudio realizado por Naredo (2002), explica que los primeros intentos de conocer la relación entre economía y medio ambiente se remontan a los griegos, afirma que ésta aparece con claridad en las nociones de *crematística* y *oikonomía* (economía) de Aristóteles, en donde, la primera aludía a la formación de precios; mientras que, la segunda al abastecimiento material del *oikos* o ciudad, esta idea general derivaría en la necesidad de administrar no solamente la casa sino todos los recursos del entorno.

En la Edad Media, el hombre comenzó a separar la actividad manufacturera de la actividad agrícola, donde fue necesario crear espacios urbanos hasta el punto de convertirlo en una actividad económica, lo que posteriormente se llamaría capitalismo; este nuevo sistema económico, fue creado sobre tres principios: la propiedad privada, la acumulación individual y el mercado, cuyo proveedor principal era la naturaleza; por otro lado, en la Revolución Industrial, con el perfeccionamiento de la máquina de vapor, crece la demanda de materias primas, la extracción exagerada de recursos transformables y energéticos como: fuentes madereras, hidráulicas, eólicas y fósiles, para la producción de máquinas y herramientas;

trayendo consigo, la sobrecarga de los ciclos de vida, aumentando la concentración de desechos sólidos, líquidos y gaseosos (Gómez et al., 2007).

En el siglo XVIII, Europa pasaba por cambios económicos que demandaban la atención de nuevos problemas, para los mercantilistas la posesión de grandes cantidades de oro y plata y la expansión comercial eran fundamentales. Por esta razón, la extracción de los mismos era una condición más de la reproducción de los estados; mientras que, para los fisiócratas, por su parte, se abocaron al entendimiento de la forma en que la Madre Tierra generaba riqueza, misma que los hombres podían incrementar gracias a los adelantos en materia de las ciencias experimentales; para este grupo de pensadores, la única actividad productiva era la agricultura por lo que debía considerarse como la fuente de riqueza (Naredo y Valero, 1999).

Como bien menciona Celemín (2007), las problemáticas ambientales comenzaron a tener preponderancia a partir de la primera revolución industrial, dando origen a reacciones críticas que denunciaban algunos de los efectos destructivos causados por los procesos de urbanización e industrialización, hay que tener en cuenta que, la contaminación ha existido desde que existen las concentraciones urbanas pero con los comienzos de la Revolución Industrial su impacto se proyectó de manera exponencial; la contaminación del aire, agua y alimentos afectaba principalmente a las clases trabajadoras; la reivindicación de mejores condiciones de higiene y vivienda fue una de las primeras demandas organizadas de mejoras medioambientales.

La teoría económica clásica, se distingue esta escuela por haber sido la primera en plantear una serie de ideas relevantes en el desarrollo de la ciencia económica y que se han introducido en los debates ambientales en la actualidad, siendo sus máximos representantes Smith y Ricardo con su obra *Gesetzmässigkeit* (legalidad, sujeción a las leyes) que veían la economía del crecimiento como una simple fase temporal entre dos posiciones de equilibrio estable, conocida como el estado estacionario (Gómez, 2003).

En materia de medio ambiente, los neoclásicos plantearon, en primer lugar, el intercambio entre factores, esto es, que los productos de la naturaleza puedan ser sustituidos ya sea por capital o por bienes manufacturados, dependiendo en menor medida de ella. En segundo, los bienes medioambientales no escasos son cuantificables y, por tanto, pueden tener precio. Esto es muy importante porque sobre estos supuestos se basarían el neoliberalismo y la economía ambiental para crear mercados ambientales (Leef, 2004).

En el pensamiento marxista, la teoría del valor aparece en el centro de la discusión sobre la relación entre medio ambiente y economía; como es sabido, la producción y el trabajo juegan también un rol central en este debate; en cuanto a la producción, Marx no hace más que seguir con la tradición heredada desde los fisiócratas, mientras que Federico Engels denunciaba las condiciones sociales en que vivían las clases sociales en la Inglaterra del siglo XIX, el autor presenta uno de los primeros retratos de la 'insustentabilidad' urbana (Engels, 1845).

Aunque, Jevons (1865) ya advertía que el fin de la revolución industrial ocurriría a consecuencia del agotamiento de los depósitos de carbón en Inglaterra, fue Pigou (1920) quien estudió las acciones de los particulares en cuanto a contaminación de ciertos "bienes libres" y naturales, dando lugar a la teoría de las externalidades. Mientras que, Marshall (1890) había analizado las economías externas en relación al ambiente, pero lo redujo a los beneficios del desarrollo industrial, desconociendo sus externalidades negativas, estaba preocupado en explicar, en un contexto estático, la reducción observada en los costes de producción a largo plazo, asociados con la expansión de una industria competitiva, su intención era reconciliar la posibilidad de una estructura industrial competitiva con la observación de que las empresas y la industria a menudo operaban bajo rendimientos crecientes o costes decrecientes en el mundo real (Pape y Ixcot, 1998).

Posteriormente, en el siglo XIX, surgieron otros pensadores como: Podolinsky (1880) quien fue pionero de la Economía Ecológica, planteo que la economía se debía estudiar como

un sistema de conversión de energía, surgieron varios estudios sobre energía, economía y sociedad con fundamentos de termodinámica, ahorro y optimizaciones energéticas, fomentando el uso de energías renovables, idea que fue retomada más adelante en 1924 por el ecólogo ruso Vernadsky, afirmando que el estudio de los principios de la optimización energética pueden ser aplicados al estudio de fenómenos económicos; así mismo, fue Haeckel (1866) quien introdujo el concepto de ecología, el cual fue entendido como la ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos con su ambiente, abarcando más adelante el estudio de las características del ambiente, transporte de materia, energía y su transformación a través de comunidades biológicas (Correa, 2006).

A Pigou (1920), se le atribuye el primer tratamiento sistemático de las externalidades; también, afirmó que a las industrias con costes marginales sociales superiores a los privados se les debería imponer un impuesto por unidad de contaminación igual al coste marginal externo generado, la solución Pigouviana consistía en asignar un impuesto por unidad de efecto externo generado de tal manera que el coste marginal privado evaluado en el nivel óptimo de dicho efecto externo fuese igual al coste marginal social. Por otro lado, Hotelling (1931), se refirió a los recursos agotables, postulando la regla sobre explotación óptima que consiste en la comparación de la rentabilidad entre el costo de oportunidad de la explotación del recurso con el costo de oportunidad del capital inmovilizado.

Seguidamente, el neoliberalismo en su postulado central afirma que el mercado es el mejor proveedor de recursos vía los precios, con el fin de intentar minimizar las externalidades ambientales derivadas de los procesos económicos y sociales a través del establecimiento de precios a los bienes y servicios ambientales; es así, que los planteamientos neoliberales se han focalizado en cómo asignar 'precios' reales tanto a los insumos (inputs) como a los productos (outputs) económicos (Antle y Heidebrink, 1995).

En cuanto, a la teoría cepalina se desarrolló principalmente en el seno de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), su principal contribuyente fue Raúl Prebisch, donde el mencionaba que el subdesarrollo latinoamericano es consecuencia de la inserción de las economías de la región al sistema económico mundial y que la función de los países no desarrollados ha sido, históricamente, la de proporcionar recursos baratos para la industrialización de las economías avanzadas, concluía que el desarrollo del actual sistema mundial no hubiese sido posible sin esa explotación de los recursos de la periferia (Quiroga, 2012).

Cuando esta preocupación contemporánea por los problemas medioambientales se generalizó en la década de los sesenta, la teoría económica, y en particular la microeconomía, estaban preparadas para abordar su estudio; por un lado, dado el papel crucial de los recursos naturales, renovables o no, en las primeras etapas del proceso de industrialización, el problema de la gestión de estos recursos ya había sido abordado, por entonces, economistas como Jevons (1865), en etapas muy tempranas, o Hotelling (1931) ya habían planteado la necesidad de estudiar las normas de explotación de estos recursos. Por otro lado, el concepto de externalidades como fallo de mercado ya había sido desarrollado, lo que facilitó a los economistas una formalización matemática de la noción de contaminación y permitió una rápida modelización de los problemas económicos asociados a la calidad medioambiental (Viladrich, 2004).

Kuznets (1955), publicó un artículo acerca de una relación entre la distribución del ingreso y el crecimiento económico, en el cual, sus hallazgos lo condujeron a postular que las variables de crecimiento económico y desigualdad (índice de GINI) muestran una relación en forma de U invertida: en un inicio, el crecimiento de la economía conlleva a un incremento de la desigualdad; no obstante, hay un nivel de ingreso per cápita que ocasiona un cambio de tendencia a partir del cual, un aumento del ingreso se traduce en una menor desigualdad; en

base a ello, estudios recientes se han dedicado a comprobar si existe una relación entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental de un país o región, buscando confirmar la existencia, o no, de una relación en forma de U invertida entre dichas variables, hipótesis conocida como la Curva Medioambiental de Kuznets; sin embargo, se sugiere que dicha relación se presenta sólo en algunos casos específicos, dependiendo de factores como la topografía de la región, la densidad poblacional, el nivel de educación alcanzado por los individuos, el grado de concentración de la riqueza, entre otras (Correa et al., 2005)

Coase (1960), propuso una idea llamada teorema del coste social, que sirvió para comprender el problema de los costes externos y sus posibles soluciones; el teorema de Coase señala que si los derechos de propiedad están bien definidos y los costos de transacción son cero, la negociación entre las partes, llevará a un punto óptimo de asignación en el mercado, que los trasladara a una óptima asignación de los recursos; asimismo, planteó el aspecto de las externalidades además llamadas efectos externos que se genera como consecuencias de los procesos productivos sobre las personas o empresas ajenas a su industria es decir, a un segundo agente económico, para explicar mejor, utilizó un ejemplo para dar a conocer a grandes rasgos la problemática de las externalidades.

Kneese (1964), expuso la preocupación por la sobreabundancia de emisiones contaminantes y se sugiere el uso de incentivos monetarios para reducir el volumen de dichas emisiones; es durante estos años que madura la idea de que cabe regular a través de sistemas que den incentivos deliberados a la reducción de dichos vertidos; en cambio, Boulding (1966) planteo la posibilidad de que existan límites al crecimiento económico por el posible agotamiento de los recursos, mencionaba que hasta finales de los años sesenta prevaleció en la mayoría de países la "economía de frontera" según la cual, la naturaleza presenta una oferta infinita de recursos físicos y un resumidero infinito para los desechos procesados y consumidos por la sociedad; así mismo, Hardin (1968) menciona la importancia de los derechos de

propiedad y la relevancia de los mismos en la sobreexplotación de los bienes en régimen de propiedad común (Tetreault, 2008).

Así mismo, Jaria (2011) manifestó que el sometimiento de la naturaleza en favor de la economía de los países se cuestionó a inicios de la década de los 70, la satisfacción de necesidades, y la acumulación de capital tras la explotación del entorno por medio de la industrialización masiva y la tecnociencia, repercute negativamente después del inicio del agotamiento de recursos naturales usados para la elaboración de bienes de consumo; las transformaciones desmedidas de la naturaleza por las acciones del hombre ponen en peligro los sistemas de vida del planeta, incluida la supervivencia humana (Kaplan, 1995).

La década de los setenta no solamente marcó la emergencia del neoliberalismo, sino también el nacimiento de un campo disciplinar: el ambiental, por la gravedad del deterioro ambiental, la explosión de los movimientos sociales con orientación medioambiental, la contracción del mercado mundial por el incremento de los precios del petróleo, el nacimiento de miles de Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) dedicadas a la protección de los recursos naturales, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, la temática ambiental se posicionó como uno de los prioritarios (Pérez, 2013). Así mismo, continuaban desarrollándose alrededor de esta concepción, métodos y técnicas de regulación ambiental, con énfasis en la protección del medio ambiente (Saravia, 2005).

Según, Ayres y Kneese (1970) el ambiente físico cumple una doble función en el proceso productivo, una vez como origen de insumos y la otra, como lugar de disposición de residuos del proceso de producción y consumo; para estos autores, la disposición de residuos resultantes del consumo y la producción son una parte normal, inevitable del proceso económico; la significación de estos problemas reales aumenta en la medida que la capacidad de asimilación o absorción se vincula a los costos del crecimiento económico y empieza a adquirir un creciente valor; como receptor de residuos, el ambiente físico actúa como un bien

de propiedad común, el agua, suelo, aire no son bienes libres, como se pensaba previamente, sino importantes valores de propiedad común cuya calidad, deteriorada por la disposición de residuos, afecta la calidad de vida.

Seguidamente, se habla sobre la hipótesis de la “intensidad de uso”, una relación en forma de U invertida para el ingreso y demanda de materiales, que fue introducida por Malenbaum (1978); quien, demostró que las economías que alcanzan un cierto nivel de renta entran en un proceso de desmaterialización o mejoras en su eficiencia energética; en cambio, los países que aún no logran alcanzar dicho punto de inflexión estarían materializándose (mayor uso de materiales por unidad de producto); así mismo, explicó empíricamente que la relación entre el crecimiento económico y el consumo de minerales alcanza una forma de U invertida; es decir, hasta un punto determinado de nivel de ingresos, el consumo de minerales se relaciona directamente; pero, a partir de dicho umbral, mayores ingresos provocan que la demanda de minerales se reduzca; a este tipo de relación se le atribuye como la hipótesis de la intensidad de uso.

Por su parte, Grossman y Krueger (1991) introdujeron el concepto de curva ambiental de Kuznets (CAK), una relación en forma de U invertida entre el ingreso y las emisiones de contaminantes que asume que la calidad ambiental en sus primeras etapas de desarrollo empeora, pero a partir de cierto nivel de ingreso, mejora; posteriormente, reasentaron dicha definición al ámbito ambiental; donde indicaron una relación en forma de U invertida para la contaminación y el ingreso; la implicación de esta hipótesis para el manejo ambiental, manifiesta que, en un inicio el ambiente puede ser sacrificado con la expectativa de que, en el futuro, el crecimiento económico admita progresos ambientales; es decir, se planea que en el largo plazo una economía de libre mercado y el crecimiento económico reflejen ser estrategias apropiadas para resolver los problemas ambientales.

Wackernagel y Rees (1996), desarrollaron un indicador como es la huella ecológica, con el propósito de evaluar la sustentabilidad de los patrones de consumo de una población dada, que puede ser definida como el área de tierra productiva requerida continuamente para proveer todos los materiales y la energía consumidos por una población especificada, así como para absorber todos sus desechos, con la tecnología actual; han utilizado esta herramienta en un esfuerzo por demostrar que los países ricos tienen un impacto ecológico perjudicial mucho más fuerte que los países pobres; y también para demostrar que la economía global ha rebasado los límites del planeta, en cuanto a su capacidad de producir materias primas y asimilación de desechos.

2. EVIDENCIA EMPÍRICA

En el siguiente apartado, se presenta la evidencia empírica que relaciona el consumo de energía no renovable, el consumo de energía no renovable, la inversión extranjera directa, el PIB per cápita, la política de eficiencia energética con la contaminación ambiental; el desarrollo de esta sección está estructurado conforme a los resultados obtenidos, en base a la metodología utilizada que incluye análisis de datos panel y series de tiempo, así mismo, se enfoca en investigaciones realizadas por grupos de países y países individuales.

En cuanto, al consumo de energía no renovable, en un estudio realizado por Mahalik et al. (2021) para un grupo de países de los BRICS, revelaron que la contaminación en gran parte es consecuencia de la infusión masiva de carbono a la atmósfera debido a las actividades antropogénicas, que ocurre por causa de la dependencia masiva del uso de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural; con el fin de los países de lograr sus esfuerzos de industrialización y urbanización. Por otra parte, Al-Mulali y Ozturk (2015), encontraron que la mayor parte del uso de energía de la región MENA donde realizaron su investigación, proviene de combustibles fósiles, que representan un 80% del uso total de energía; por lo tanto, está

claro que el aumento en el consumo de energía de esta región contribuye en gran medida al daño ambiental; así mismo, la mayor parte de la participación industrial de esta región proviene del petróleo y el gas natural.

Seguidamente, Belaïd y Zrelli (2019) realizaron su investigación para un grupo de Países del Mediterráneo, utilizando técnicas de cointegración que permite la dependencia de la sección transversal entre el panel, descubrieron que el consumo de energía no renovable tiene un impacto perjudicial en la calidad del medio ambiente, afirman que la contaminación ambiental es un fenómeno intrincado que surge de interacciones complejas entre tres parámetros distintos: economía, energía y medio ambiente; la energía que utilizan es necesaria para la producción económica y el desarrollo de la sociedad, pero también es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero. Del mismo modo, Nathaniel y Khan (2020) que realizaron un estudio en la región de la ASEAN, encontraron que la energía no renovable conlleva negativamente a la contaminación ambiental, ya que la energía consumida en la región es predominantemente no renovable, lo que tiene implicaciones importantes para el desarrollo sostenible.

A continuación, Asongu et al. (2020); Awodumi y Adewuyi (2020); Nathaniel y Iheonu (2019); examinaron el papel del consumo de energía no renovable en África, adoptando pruebas de cointegración y raíz unitaria de primera y segunda generación, sus hallazgos confirmaron que la energía no renovable aumenta las emisiones de CO₂ de manera significativa, pero que también podría ser negativa o insignificante en los principales productores de petróleo; así mismo, muestran que tanto el consumo de petróleo como de gas natural tienen un efecto asimétrico sobre el crecimiento económico y las emisiones de carbono en todos los países seleccionados excepto para Argelia, por ejemplo, en el caso particular de Nigeria, los hallazgos sugieren que un cambio positivo en el consumo de energía no renovable retrasó el crecimiento pero redujo las emisiones; mientras que, en Gabón, el aumento del

consumo de energía no renovable promovió el crecimiento y mejoró la calidad ambiental y en Egipto, el consumo de estos tipos de energía no produjo ningún efecto significativo sobre la contaminación ambiental pero contribuyó al crecimiento económico.

Por otro lado, Khan et al. (2021) indicaron que la mayor amenaza para el desarrollo sostenible del mundo es el deterioro de la calidad ambiental que resulta del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), su estudio realizado en Estados Unidos, ha experimentado un tremendo crecimiento económico en las últimas dos décadas, manifestaron que las emisiones de CO₂ del país fueron de 5,01 millones de kilotoneladas en 2016, las segundas más altas del mundo, ya que consume alrededor del 25% de la energía total producida en el mundo y tiene la mayor cantidad de consumo de petróleo en el mundo. Agregando a lo anterior, Bélaïd y Youssef (2017); Saboori y Sulaiman (2013) emplearon un enfoque de retardo distribuido autorregresivo (ARDL) para Argelia y Malasia respectivamente, sus resultados confirmaron la existencia de una relación de cointegración a largo plazo entre las variables; encontraron que, a largo plazo, el crecimiento económico y el consumo de energía no renovable tienen un efecto perjudicial sobre la calidad del medio ambiente, ya que han experimentado un rápido crecimiento económico debido a sus recursos de combustibles fósiles.

Además, Nadimi y Tokimatsu (2017) expresaron que el uso excesivo de combustibles fósiles, consiste principalmente en carbono e hidrógeno y amenaza el clima global, el ecosistema y la salud pública, su estudio se basó en un enfoque econométrico para pronosticar el consumo de energía en Japón, explican que los combustibles fósiles emiten dióxido de carbono y dióxido de azufre al medio ambiente, lo que resulta en el calentamiento global y la lluvia ácida. De forma similar, Shirwani et al. (2020) indicaron que la degradación ambiental se agrava con el uso de recursos energéticos no renovables y que el principal consumidor de fuentes de energía no renovables es el sector del transporte en Pakistán, manifiestan que la energía, ya sea de fuentes renovables o no renovables, es de suma importancia ya que el

progreso de un país se mide en función del desarrollo económico; sin embargo, con el uso de recursos energéticos no renovables, la degradación ambiental se agrava cada día que pasa principalmente en los países en desarrollo.

Del mismo modo, Deng et al. (2020) encontraron que en la mayoría de los países de América del Sur dependen en gran medida de la minería y la agricultura, que se desarrolla a través de la destrucción del bosque, sus resultados muestran que, cuando aumenta el consumo de energía no renovable, también aumentan las emisiones de gases contaminantes, tanto a corto como a largo plazo; debido a que, el surgimiento de la producción de esta región, está asociado al consumo de recursos energéticos, especialmente de fuentes no renovables como el carbón y el petróleo. Agregando a lo anterior, Rentería et al. (2016) en su estudio comprobaron que las emisiones de GEI son la consecuencia de un incremento del crecimiento económico y un mayor consumo de energía, netamente no renovable en el Ecuador, explican que una de las causas de estas complicaciones ambientales resultan del uso de combustibles fósiles, como el petróleo, carbón y gas ocupados en la generación de energía para la actividad industrial, comercial y residencial, por tanto, son considerados como los principales contribuyentes del deterioro ambiental.

En relación, con el consumo de energía renovable, Anwar et al. (2021) analizaron el impacto de las energías renovables sobre las emisiones de carbono, para el estudio empírico utilizan un método novedoso de regresión cuantílica que cubre un grupo de países de la ASEAN, sus resultados indican que, el consumo de energía renovable conduce a una disminución de emisiones de CO₂ en todos los cuantiles (del 10 al 90); además, sus hallazgos también describen que un aumento del 1% en el uso de energía renovable reduce las emisiones de CO₂ en 0.17%, 0.15% y 0.17% en el caso de FMOLS, DOLS y FE-OLS respectivamente; ya que recurren a energías renovables para satisfacer la creciente demanda de energía en aras de una menor contaminación y un medio ambiente más limpio, los abundantes recursos

naturales y las políticas económicas de estos países llaman la atención de los inversores extranjeros; por tanto, la región se destaca como una de las regiones más rápidas de economías emergentes del mundo.

De la misma manera, Ulucak et al. (2020) mediante herramientas avanzadas de estimación de datos de panel, sus hallazgos indican que la energía renovable reduce el deterioro del medio ambiente en términos de huella ecológica y huella de carbono, debido a que, la región de la OCDE país de estudio, se compone principalmente de países de altos ingresos que proporcionan más tecnología e innovación en sus sectores energéticos para aumentar la eficiencia energética e invertir en energías renovables para producir energía limpia. Así mismo, Alola et al. (2019) descubrieron que el consumo de energía renovable mejora la sostenibilidad ambiental, emplearon un modelo de retardo distributivo autorregresivo del grupo medio para la Unión Europea, donde explican que, la incorporación de tecnologías energéticas más eficientes, modernas y limpias como las renovables, son el requisito previo para una transición exitosa del consumo de combustibles fósiles mientras se logra una economía descarbonizada; indican que un mayor uso de energías renovables y la innovación tecnológica parecen la forma más plausible de reducir el deterioro ambiental.

Posteriormente, Adams y Nsiah (2019); Wang y Dong (2019), realizaron su investigación para un grupo de países del África Subsahariana, utilizando técnicas de cointegración de panel de segunda generación, sus resultados indican que la energía renovable mitiga la degradación ambiental, además, revelan que la región africana tiene un enorme potencial de desarrollo de energías renovables para mitigar los efectos del elevado crecimiento demográfico y la pobreza energética y su efecto negativo concomitante sobre el cambio climático, explican que se deben mejorar la estructura de la industria y que la Iniciativa de Energía Renovable de África lanzada en la 21 sesión de la Conferencia de las Partes de las Naciones Unidas es una oportunidad para que los países del África subsahariana actualicen y

mejoren aún más la industria de las energías renovables, hay que tener en cuenta que, a pesar de que la región es abundante en energía renovable, que representa más del 70% de su energía total, el consumo de energía no renovable está superando al de energía renovable, con un aumento del 69% en 2017 en comparación con 2010.

Por otra parte, Sarkodie et al. (2020) en un estudio realizado para China encontraron que si bien existe un aumento de la participación de las tecnologías de energía de fuentes renovables reduce las emisiones en un 0,38% y la degradación ambiental en un 0,21%, expresan que la combinación de energía renovable y la eficiencia energética proporciona más del 90% de las reducciones necesarias de emisiones de CO₂ relacionadas con la energía. Del mismo modo, Muchran et al. (2020) utilizando la metodología de retardo distribuido autorregresivo (ARDL), sus resultados obtenidos del modelo indican que un mayor consumo de energía renovable atenúa la emisión de carbono (CO₂), la adopción de fuentes de energía renovables y mecanismos ecológicos en cada etapa de los procesos de producción ha sido importante para mejorar la calidad del medio ambiente en Indonesia.

En base, a la inversión extranjera directa, Emre Caglar (2020); Waqih et al. (2019), encontraron evidencia a favor de la hipótesis del refugio de la contaminación, mediante un modelo ARDL, para un grupo de países denominado “Categoría Verde” y la región SAARC respectivamente, donde afirman que los países con políticas ambientales débiles son atractivos para países con políticas ambientales estrictas, la degradación ambiental en el país anfitrión puede aumentar e indicar el efecto de escala, explican que los cambios en el nivel de contaminación se dividen en tres clases, en la primera fase de desarrollo (es decir, un aumento del PIB), la contaminación ambiental aumenta debido al consumo de recursos naturales y al aumento de la producción; así, surge el efecto de las escalas; en segundo lugar, el efecto composición es especialmente evidente en la transición de sectores productivos que utilizan recursos energéticos más intensivos a sectores respetuosos con el medio ambiente; finalmente,

los fabricantes avanzan hacia un proceso de producción limpio debido a los avances tecnológicos.

Seguidamente, Saint et al. (2019) manifestaron que, al consumir más energía renovable e invertir en tecnologías de alta calidad para los procesos productivos, la Unión Europea tiende a reducir su dependencia de la importación de combustibles fósiles, lo que hace que su producción y consumo de energía sean más sostenibles, sustentan que la IED genera un medio ambiente más limpio mediante la transferencia de tecnología avanzada y una mejor gestión en el país receptor. Mientras tanto, Mahjabeen et al. (2020) sugieren que deben centrarse en tecnologías de energía renovable para disminuir la contaminación ambiental, las estadísticas del panel ARDL indican una cointegración significativa entre todas las variables de ambas funciones, mientras que la prueba FMOLS revela que la inversión en avances tecnológicos productivos tiene un impacto positivo en el crecimiento económico, así como en la degradación ambiental; por lo tanto, una transición a una energía más limpia es el desafío final para las economías, para garantizar la seguridad energética, reducir la degradación ambiental y estimular el crecimiento económico.

Por último, Sinha et al. (2017) mediante el Método de Momentos Generalizados (GMM) señalan que el consumo de energía es un factor extremadamente crucial para permitir el crecimiento económico de todas las naciones, debido a que la difusión transfronteriza del progreso tecnológico está aumentando, los países pasan gradualmente de etapas menos desarrolladas o en desarrollo a etapas emergentes, el estudio tomo como referencia a un grupo de once países que se los conoce como economías N-11, sus resultados demostraron que la inversión en tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente tiene un impacto negativo en la degradación ambiental, explican que los responsables de la formulación de políticas de los países emergentes deben centrarse en los beneficios a largo plazo de la implementación de tecnologías de alta calidad y la generación de energía renovable, estos países también deben

enfaticar la difusión de tecnología a través de una ruta comercial porque tiene un impacto positivo en la disminución de las emisiones de contaminantes en el medio ambiente.

En contraste, con el crecimiento económico, Destek y Sinha (2020); Ozcan et al. (2020); Rehman y Rashid (2017); Sharif et al. (2019), examinaron la validez de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets, utilizando metodologías de datos de panel de segunda generación que permiten la dependencia transversal entre países; explican que, en el nivel naciente de crecimiento económico, la demanda de energía se logra en general mediante el consumo de combustibles fósiles, este proceso en particular luego emite contaminantes del aire en la atmósfera ambiental, y esto aumenta con un incremento en el consumo de combustibles fósiles; como resultado, hasta cierto punto, el patrón de crecimiento económico tiene consecuencias perjudiciales sobre la calidad ambiental; pero, tan pronto como el crecimiento alcanza un cierto grado, el aumento de la conciencia ambiental insiste a los legisladores y las industrias a reflexionar sobre tecnologías menos contaminantes y recursos de energía renovable y, por lo tanto, el patrón de crecimiento económico da como resultado una disminución de la degradación ambiental.

Luego, Dogan y Inglesi (2017); Moutinho et al. (2017); Nwaka et al. (2020), manifestaron que, el crecimiento económico implica un consumo de recursos naturales, generación de desechos y contaminación; desde el punto de vista ambiental, el daño ecológico es inevitable y provoca una desventaja de una economía en crecimiento; explican que, el nivel de emisión de carbono aumenta a medida que el nivel de ingreso real (PIB) aumenta hasta cierto punto; después de este punto, la emisión de carbono disminuye con el ingreso real; así mismo, manifiestan que la energía se considera hoy en día un factor importante de producción, pero su generación y consumo está relacionado con consecuencias perjudiciales para el medio ambiente, provocando el cambio climático; indican que, teniendo en cuenta los compromisos ambientales a través de acuerdos internacionales de cambio climático, es imperativo ahora más

que nunca buscar fuentes alternativas de energía más amigables con el medio ambiente y que su adopción se facilita debido a los avances tecnológicos en el sector y la disminución en el costo de instalación de energía renovable.

Por otro lado, Pandey y Rastogi (2019) en un estudio realizado para la India, investigaron el impacto del crecimiento económico sobre la degradación ambiental, utilizando el enfoque de cointegración de Johansen, sus resultados arrojan que en la actualidad, se han utilizado cantidades masivas de combustibles fósiles como fuente de energía para impulsar la economía de un país; este escenario contribuye significativamente a un gran porcentaje de las emisiones de dióxido de carbono, analizan que, la principal contribución al aumento de las emisiones de la India es el aumento del 5,7% anual en el suministro total de energía primaria, el 57% del cual proviene del carbón. Mientras tanto, Alam et al. (2007) en un estudio realizado para Pakistán indicaron que el proceso de desarrollo económico depende en gran parte del nivel de uso de energía y el resultado de este uso de energía, provoca un incremento de las emisiones de CO₂; advierten que, la cantidad de emisión de dióxido de carbono depende del tamaño de su economía, el nivel de industrialización y la eficiencia del uso de la energía.

Finalmente, en relación con la política de eficiencia energética, Catalán (2014) en un estudio realizado para un grupo de 144 países, afirma que la eficiencia energética es una de las principales variables que inducen una reducción en el consumo de energía de origen fósil y permiten desacoplar la trayectoria de la actividad económica y el producto, es decir la eficiencia energética genera reducciones importantes en la demanda de energía, muestran que las mejoras ambientales no dependen solo del crecimiento económico, la eficiencia energética es una variable relevante en el diseño de políticas para lograr reducir las emisiones, así como la protección a la biodiversidad y conservación de áreas naturales. Así mismo, Balsalobre et al. (2016) en una investigación realizada para países de la OCDE, explican que, resulta lógico considerar que las medidas de eficiencia energética tienen un papel preponderante en la

reducción de emisiones GEI, en el sentido que conforme mayores sean las innovaciones cabe esperar una mayor la reducción del nivel de intensidad energética y, por ende, el nivel de emisiones.

Seguidamente, Sánchez y Caballero (2019) explican que, la energía, junto con factores como el trabajo, el capital y la tecnología, son necesarios para la producción y, en consecuencia, para el crecimiento económico; estas relaciones entre la energía y los factores productivos pueden transformar su rol en relación con el crecimiento de la economía, es decir, la energía y la producción se pueden modificar a través de la sustitución por otros insumos, por los cambios tecnológicos y por los cambios en su respectiva composición. Por otra parte, Falconí y Burbano (2016) señalan que, a pesar de una mayor implementación en el sector energético y en los procesos productivos por medio de políticas de eficiencia energética, las emisiones de gases contaminantes globales siguen creciendo; entonces, explican que eficiencia energética no siempre, es equivalente a una disminución del uso de recursos en el planeta y tampoco se asemeja a un menor impacto de la calidad ambiental, que incrementos en la eficiencia energética implican una mayor demanda y consumo de energía, aseveraciones que, concuerdan con estudios de Jevons (1865), donde manifestaba que el cambio hacia energías más eficientes, conllevan a las personas a un mayor consumo energético.

e. MATERIALES Y MÉTODOS

1. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

1.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS

La información estadística recopilada para el desarrollo de la presente investigación se tomó de los Indicadores del Desarrollo Mundial (WDI, 2020) correspondientes al período 1970 – 2015; particularmente, son datos anuales, para el caso de Ecuador. La estimación del modelo se realizará mediante técnicas econométricas de series de tiempo, para ello, se ha considerado como variable dependiente un índice de contaminación obtenido a partir de tres medidas: el metano (kt de equivalente de CO₂), las emisiones de dióxido de nitroso (miles de toneladas métricas de equivalente de CO₂) y el dióxido de carbono (toneladas métricas per cápita); la ventaja de la utilización de este índice es que captura de forma más integral la contaminación ambiental, se construye con los valores promedio de cada subíndice y los subíndices se construyen mediante una fórmula que permite relativizar el valor obtenido de cada una de las variables, cabe mencionar que, es una adaptación del índice elaborado por Alvarado (2011) el cual desarrolló para evaluar la competitividad regional.

En cuanto, a la variable independiente se utilizó el consumo de energía no renovable (% del total de combustibles fósiles) que según la literatura empírica la mayor parte del uso de energía, proviene de los combustibles fósiles. En la actualidad, aproximadamente el 81% de toda la energía primaria en el mundo se deriva de los combustibles fósiles, y el petróleo representa el 31,9%, el carbón el 27,1% y el gas natural el 22,1% (International Energy Agency [IEA], 2018). Así mismo, con el fin de comprobar o rechazar la hipótesis planteada de que los niveles de contaminación ambiental aumentan como resultado de un mayor consumo de energía no renovable, se consultó a varios autores como Khan et al. (2021); Mahalik et al. (2021); Nathaniel y Khan (2020), que mostraron que el consumo de energía no renovable produce un agotamiento de la calidad ambiental, debido a las actividades antropogénicas, que

ocurre por causa de la dependencia masiva del uso de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural, con la finalidad de los países de lograr sus esfuerzos de industrialización, urbanización y desarrollo económico.

A continuación, se incluyó un conjunto de variables de control que permitieron dar un mayor ajuste al modelo y obtener nuevas determinantes de la contaminación ambiental, entre ellas se encuentran el consumo de energía renovable (% del consumo total de energía final). Luego, la variable de Inversión Extranjera Directa (entrada neta de capital % del PIB). Seguidamente, añadimos la variable PIB per cápita (US\$ a precios constantes de 2010), como es de conocimiento es un factor clave en el desarrollo económico. Finalmente, se agregó la política de eficiencia energética que es una de las principales variables que inducen a una reducción del consumo de energía de origen fósil, en el sentido de que conforme mayores sean las innovaciones tecnologías en el sector energético se espera una mayor la reducción del nivel de intensidad energética y, por ende, una disminución el nivel de emisiones de GEI en la atmósfera. A continuación, en la Tabla 1 se muestra la descripción de las variables utilizadas en el modelo econométrico.

Tabla 1

Descripción de las variables

Tipo de Variable	Variable y Notación	Unidad de Medida	Definición
Dependiente	Contaminación ambiental (IP)	Índice	CH4 Las emisiones de metano de desechos sólidos, ganado, minería de carbón duro y lignito, arrozales, agricultura y fugas de tuberías de gas natural.
			NO2 Las emisiones de óxido nitroso son generadas por la quema de biomasa en la agricultura, las

			actividades industriales y la cría de animales.
			Las emisiones de dióxido de carbono son las que proceden de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento.
Independiente	Consumo de energía no renovable (logNER)	% del total de combustibles fósiles	El combustible fósil comprende los productos de carbón, aceite, petróleo y gas natural.
	Consumo de energía renovable (logER)	% del consumo total de energía final	El consumo de energía renovable es la participación de la energía renovable en el consumo total de energía final.
VARIABLES DE CONTROL	Inversión Extranjera Directa (IED)	entrada neta de capital % del PIB	La inversión extranjera directa constituye la suma del capital accionario, la reinversión de las ganancias, otras formas de capital a largo plazo y capital a corto plazo, tal como se describe en la balanza de pagos, proveniente de fuentes extranjeras.
	PIB per cápita (logYpc)	US\$ a precios constantes de 2010	Es la suma del valor agregado bruto de todos los productores residentes en la economía más todo impuesto a los productos, menos todo subsidio no incluido en el valor de los productos.
Dummy	Política (Pol)	1 para años en que se aplicó la política y 0 para los cuales no se implementó.	Captura el cambio de los niveles de contaminación en el ambiente, desde el 2008, año que entró en vigencia la política de eficiencia energética.

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020). Tomado de los Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI)

Continuando con el análisis, en la Tabla 2 se puede verificar los estadísticos descriptivos de cada una de las variables que se incluirán en la presente investigación, se detalla

un total de 46 observaciones. Asimismo, se observa la media que manifiesta el valor promedio de los datos de cada variable. En cuanto, a las variables que miden la contaminación ambiental en diferentes aspectos, se ubican el metano (CH₄), el óxido de nitroso (NO₂) y el dióxido de carbono (CO₂), presentan una media de 6,59%; 2,40% y 8,57% respectivamente. Por otra parte, el consumo de energía no renovable presenta un valor medio de 4,35% explicado por el aumento del volumen del consumo de combustibles fósiles. Seguidamente, tenemos el consumo de energía renovable que presenta una media de 2,89% es importante para el crecimiento económico sustentable y también permite menores niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al medio ambiente. Por otro lado, tenemos la IED que presenta un valor medio de 1,33% importante dinamizador de la economía; por último, tenemos el PIB per cápita que presenta un valor medio de 8,25%; representa la renta real de cada individuo. Finalmente, la política que presenta un valor medio de 0,15%; contribuye a la reducción de la contaminación ambiental.

Otro estadístico que permite complementar este análisis es la desviación estándar, que mide el grado en que las puntuaciones de una variable se aleja de su media y que tan dispersos se encuentran los datos con respecto a la media, en este sentido, la IED es la variable que presentan mayor dispersión de sus datos puesto que su valor es de 1,18; en comparación con los diferentes indicadores de contaminación ambiental, consumo de energía no renovable, consumo de energía renovable, PIB per cápita y la política que son de 0,283; 0,280; 0,09; 0,15; 0,21; 0,17 y 0,36 respectivamente. Finalmente, los mínimos indican los valores más pequeños y los máximos indican los valores más grandes, que nos permite verificar la amplitud entre el valor más grande (máximo) y el más pequeño (mínimo), es decir, el rango entre el cual cada una de las variables van a presentar sus datos cada año.

Tabla 2*Estadísticos descriptivos de las variables*

Variables	Observaciones	Media	Desviación estándar	Mínimos	Máximos
LogCH4	46	6,5876	0,2831	5,8286	6,9277
LogN2O	46	2,3950	0,2800	1,8413	2,7547
LogCO2	46	8,5702	0,0985	8,3806	8,7677
LogNER	46	4,3450	0,1540	3,8528	4,4756
LogER	46	2,8917	0,2096	2,4938	3,1863
IED	46	1,3278	1,1818	-0,2189	5,8855
LogYpc	46	8,2491	0,1699	7,8191	8,5964
Pol	46	0,1522	0,3632	0	1

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020)

1.2 ESTRATEGIA ECONOMÉTRICA

La presente investigación tiene como finalidad examinar la relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador, periodo 1970-2015, por esa razón para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos planteados, la estrategia econométrica se dividió en tres partes: primero, se analiza la evolución y correlación de las variables principales en el tiempo; segundo, se estima un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para determinar el efecto y relación entre el consumo de energía no renovable y la contaminación ambiental, así como con las variables de control; seguidamente, para determinar si existe relación a corto y/o largo plazo se utiliza técnicas de cointegración de series de tiempo, mediante modelos de Vectores Autorregresivos (VAR) y Vectores de Corrección de Error (VEC); tercero, para verificar si existe una relación causal entre las variables, se utiliza la prueba de causalidad propuesta por Granger (1969).

OBJETIVO ESPECÍFICO 1

“Analizar la evolución y correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015”.

Para dar cumplimiento al primer objetivo, se realizará un análisis de la evolución y correlación de la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable en Ecuador, durante el periodo 1970-2015, con el propósito de verificar el comportamiento que han tenido las variables principales a lo largo del tiempo. Por lo tanto, mediante un análisis descriptivo verificamos la tendencia de la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable, para lo cual se procedió a elaborar graficas de evolución, con la finalidad de describir las distintas fases y el comportamiento que han tenido dichas variables en el tiempo. Seguidamente, para el análisis de la correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable se elaboró una gráfica de correlación con el fin de determinar el grado de asociación que pueda existir entre dichas variables, las cuales se encuentran en promedios anuales y verificar la hipótesis planteada de que, un aumento de los niveles de contaminación ambiental son el resultado de un mayor consumo de energía no renovable.

OBJETIVO ESPECÍFICO 2

“Estimar la dinámica de corto y largo plazo entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015”.

Con la finalidad de dar cumplimiento al segundo objetivo; primero, se estimará un modelo MCO para series de tiempo, con el propósito de verificar el efecto que tiene la variable consumo de energía no renovable sobre la contaminación ambiental; además, se incorporara una variable dummy (política) para capturar el efecto que tiene en la reducción de los niveles de contaminación ambiental. Se parte de la siguiente ecuación:

$$IP_t = \beta_0 + \beta_1 \log NER_t + \beta_2 Pol_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde, IP_t es la variable dependiente, representa el índice de contaminación ambiental en el periodo (t); β_0 es el intercepto en el tiempo; $\beta_1 \log NER_t$ es la variable independiente, que mide el efecto del consumo de energía no renovable sobre la contaminación ambiental; $\beta_2 Pol_t$ es la variable dummy, representa el cambio estructural del nivel de contaminación en el ambiente, ya que conforme se implementan políticas de eficiencia energética, mayores son los avances en innovaciones tecnológicas en el sector energético; por ende, se espera obtener una disminución las emisiones de GEI en el medio ambiente; finalmente, ε_t representa el término de error.

Seguidamente, se introduce a la ecuación (1) variables de control para dar mayor ajuste y significancia al modelo, las mismas que tienen una capacidad explicativa sobre la contaminación ambiental en Ecuador. Entre ellas, se agregan el consumo de energía renovable ($\log ER$), la inversión extranjera directa (IED) y el Producto Interno Bruto per cápita ($\log Ypc$). El modelo a estimar se denota de la siguiente forma:

$$IP_t = \beta_0 + \beta_1 \log NER_t + \beta_2 \log ER_t + \beta_3 \log IED_t + \beta_4 \log Ypc_t + \beta_5 Pol_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Para tener datos confiables del MCO se procederá a utilizar pruebas de diagnóstico para detectar si el modelo presenta problemas de multicolinealidad, normalidad, heteroscedasticidad y autocorrelación. Para averiguar problemas de multicolinealidad se recurrirá al método del Factor de Inflación de la Varianza (FIV), el cual revela que, si el promedio del FIV es menor a 10, no existe el problema de multicolinealidad en el modelo. Consecutivamente, para análisis de heteroscedasticidad, se empleará la prueba de White, si el valor de la probabilidad de χ^2 es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad, caso contrario se acepta. Posteriormente, para la prueba de normalidad se aplicará la prueba de Skewness-Kurtosis y la prueba Shapiro-Wilk, para comprobar si los errores se distribuyen normalmente, si el valor de

la probabilidad de χ^2 es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula de normalidad, caso contrario se rechaza la H_0 . Finalmente, para la prueba de autocorrelación se utilizará el test de Durbin-Watson y la prueba de Bgodfrey, si el valor de la probabilidad de χ^2 es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula de No autocorrelación, caso contrario se acepta la H_0 (Gujarati y Porter, 2010).

Por otro lado, para verificar la existencia de una relación a largo y corto plazo entre las variables incluidas en el modelo de investigación, se realizará un modelo de Vectores Autorregresivos (VAR) y un modelo de Vectores de Corrección de Error (VEC). Pero antes de estimar el modelo VAR, se deben cumplir dos características: las variables deben tener un mismo orden de integración y al menos debe existir un vector de cointegración, cumpliendo estos requerimientos se puede estimar un modelo VAR.

Gujarati y Porter (2010), mencionan que la mayoría de las series de tiempo no son estacionarias por lo que se les debe aplicar primeras diferencias para que se vuelvan estacionarias. Para ello, se utilizó la prueba de raíz unitaria en series de tiempo, con la finalidad de comprobar que las variables no tengan un efecto tendencial, para lo cual se empleó la prueba de Dickey y Fuller aumentada (1979), en la cual plantea la hipótesis nula, la existencia de raíz unitaria; esto implica que deben tener un orden de integración de orden $I(1)$; los resultados obtenidos serán contrastados con la prueba de Phillips y Perron (1988), en caso de que se presentan problemas de no estacionariedad se les aplicará primeras diferencias, con el fin de corregir el problema y convertirlas en estacionarias.

Posteriormente, para determinar el número de rezagos óptimos que se deben utilizar en el modelo de largo como de corto plazo, entre las variables incluidas en el modelo en primeras diferencias, se empleará cuatro criterios de información: el error de predicción final (FPE), el Criterio de Akaike (AIC), el de Hannan y Quinn (HQIC) y el Bayesiano de Schwarz (SBIC). Por otro lado, con el objetivo de confirmar la existencia de vectores de cointegración se

dispondrá de la prueba de cointegración de Johansen (1988), puesto que, nos indicará el número de vectores de cointegración existentes en el modelo, sustentándose en los estadísticos de Traza (Trace Statistic) y la prueba de Máximo Valor Propio (Maximum Eigenvalue test).

Una vez, teniendo en cuenta todo lo establecido en los apartados anteriores, se empleará del modelo de Vectores Autorregresivos (VAR); con el fin, de comprobar si existe una relación en el largo plazo entre la contaminación ambiental (IP), consumo de energía no renovable (logNER), consumo de energía renovable (logER), inversión extranjera directa (IED) y PIB per cápita (logYpc), el sistema de ecuaciones se plantea de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \Delta IP_t = & \alpha_0 + \alpha_1 \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \alpha_2 \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \alpha_3 \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \alpha_4 \sum_{i=1}^N \Delta \log Ypc_{t-1} + \\ & \alpha_5 \sum_{i=1}^N \Delta IP_{t-i} + \varepsilon_{1t} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Delta \log NER_t = & \alpha_6 + \alpha_7 \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \alpha_8 \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \alpha_9 \sum_{i=1}^N \Delta \log Ypc_{t-1} + \alpha_{10} \sum_{i=1}^N \Delta IP_{t-1} + \\ & \alpha_{11} \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \varepsilon_{2t} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta \log ER_t = & \alpha_{12} + \alpha_{13} \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \alpha_{14} \sum_{i=1}^N \Delta \log Ypc_{t-1} + \alpha_{15} \sum_{i=1}^N \Delta IP_{t-1} + \alpha_{16} \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \\ & \alpha_{17} \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \varepsilon_{3t} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta IED_t = & \alpha_{18} + \alpha_{19} \sum_{i=1}^N \Delta \log Ypc_{t-1} + \alpha_{20} \sum_{i=1}^N \Delta IP_{t-1} + \alpha_{21} \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \alpha_{22} \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \\ & \alpha_{23} \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \varepsilon_{4t} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta \log Ypc_t = & \alpha_{24} + \alpha_{25} \sum_{i=1}^N \Delta IP_{t-1} + \alpha_{26} \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \alpha_{27} \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \alpha_{28} \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \\ & + \alpha_{29} \sum_{i=1}^N \Delta \log Ypc_{t-1} + \varepsilon_{5t} \end{aligned} \quad (7)$$

Donde Δ es el operador de primeras diferencias, luego de verificar la existencia de cointegración a largo plazo entre las variables incluidas en el modelo econométrico, se adquiere el término de error de equilibrio ∇ , este vector se emplea para estimar el modelo de Vectores de Corrección de Error (VEC), con el propósito de determinar la existencia de equilibrio de corto plazo entre la contaminación ambiental (IP), el consumo de energía no renovable (logNER), el consumo de energía renovable (logER), la inversión extranjera directa (IED) y el

PIB per cápita ($\log Y_{pc}$). La significación estadística del parámetro asociado con el error de equilibrio incorporado en el ε_{t-1} muestra el mecanismo de corrección que devuelve a las variables de equilibrio en el corto plazo. El sistema de ecuaciones del modelo VEC queda planteado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \Delta IP_t = & \alpha_0 + \alpha_1 \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \alpha_2 \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \alpha_3 \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \alpha_4 \sum_{i=1}^N \Delta \log Y_{t-1} + \\ & \alpha_5 \sum_{i=1}^{J=N} \Delta IP_{t-i} + \alpha_6 \varepsilon_{t-1} + \lambda_{1t} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta \log NER_t = & \alpha_7 + \alpha_8 \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \alpha_9 \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \alpha_{10} \sum_{i=1}^N \Delta \log Y_{pc_{t-1}} + \alpha_{11} \sum_{i=1}^N \Delta IP_{t-1} + \\ & \alpha_{12} \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \alpha_{13} \varepsilon_{t-1} + \lambda_{2t} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Delta \log ER_t = & \alpha_{14} + \alpha_{15} \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \alpha_{16} \sum_{i=1}^N \Delta \log Y_{pc_{t-1}} + \alpha_{17} \sum_{i=1}^N \Delta IP_{t-1} + \alpha_{18} \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \\ & \alpha_{19} \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \alpha_{20} \varepsilon_{t-1} + \lambda_{3t} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Delta IED_t = & \alpha_{21} + \alpha_{22} \sum_{i=1}^N \Delta \log Y_{pc_{t-1}} + \alpha_{23} \sum_{i=1}^N \Delta IP_{t-1} + \alpha_{24} \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \alpha_{25} \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \\ & \alpha_{26} \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \alpha_{27} \varepsilon_{t-1} + \lambda_{4t} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \Delta \log Y_{pc_t} = & \alpha_{28} + \alpha_{29} \sum_{i=1}^N \Delta IP_{t-1} + \alpha_{30} \sum_{i=1}^N \Delta \log NER_{t-1} + \alpha_{31} \sum_{i=1}^N \Delta \log ER_{t-1} + \alpha_{32} \sum_{i=1}^N \Delta IED_{t-1} + \\ & \alpha_{33} \sum_{i=1}^N \Delta \log Y_{pc_{t-1}} + \alpha_{34} \varepsilon_{t-1} + \lambda_{5t} \end{aligned} \quad (12)$$

A partir, de las ecuaciones del (3) al (12) se puede observar tanto la dinámica de largo y corto plazo. Sin embargo, en cuanto al corto plazo los coeficientes alcanzados deben ser estadísticamente significativos para mostrar que el efecto del consumo de energía no renovable, consumo de energía renovable, inversión extranjera directa y PIB per cápita son relevantes en la contaminación ambiental. Además, para señalar la existencia de una relación de corto plazo el parámetro del error rezagado (ε_{t-1}), debe ser estadísticamente significativo, ya que este revela como las variables retornan al equilibrio en esa dimensión temporal.

OBJETIVO ESPECÍFICO 3

“Determinar la relación de causalidad entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015”.

Para dar respuesta al tercer objetivo, se usará la prueba de causalidad de Granger (1969), para verificar el sentido de causalidad entre las variables, también, permite comprobar si los efectos de una variable sirven para predecir a otra, es decir, si las variables incluidas en el modelo tienen alguna relación causal y directa con la contaminación ambiental. Por otro lado, Uquillas y Gonzalez (2017), mencionan que la relación causal desde las variables explicativas a la variable dependiente, es una característica de un modelo econométrico, puesto que la teoría económica aporta suficientes elementos como para sugerir que las variables explicativas influyen sobre la variable dependiente. Además, Gujarati y Porter (2010) explican que, la prueba de causalidad implica la estimación de dos regresiones:

$$X_t = \sum_{i=1}^n \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^n \beta_i X_{t-i} + u_{1t} \quad (13)$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^n \lambda_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^n \delta_i X_{t-i} + u_{2t} \quad (14)$$

Donde, X_t y Y_t son dos variables estacionarias con $t = 1, \dots, T$ y las perturbaciones u_{1t} y u_{2t} no están correlacionadas, es decir, $corr(u_{1t}, u_{2t}) = 0$. Además, las variables X y Y deben ser estacionarias, la dirección de la causalidad depende de manera crítica del número de retardos incluidos en la regresión y los valores estimados de los coeficientes en esta prueba no son importantes. Solamente interesa contrarrestar la hipótesis nula donde se asume la ausencia de la causalidad en el sentido de Granger al 95% de confianza.

f. RESULTADOS

1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1

“Analizar la evolución y correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015”.

1.1. Evolución de la contaminación ambiental en Ecuador, periodo 1970-2015

Según, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) manifiestan que, el consumismo y la industrialización empeoran la concentración de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera. Por este motivo, es sustancial sensibilizar a la población de nuestro planeta sobre el cambio climático y los impactos ambientales que provocan estos factores. Además, informa que el Ecuador emite 1,9 toneladas métricas de CO₂ por habitante; lo que constituye un 0,1% de emisiones a nivel mundial.

La Figura 2, permite evidenciar que la contaminación ambiental ha mostrado un comportamiento progresivo entre 1970-2015, a pesar de que consta cierta variabilidad en su evolución, dado que, si bien presenta en la mayoría de los años un crecimiento paulatino, existen ciertas fases en las que revela una disminución, a pesar de ser un país con emisiones que representan menos del 0,5% de CO₂ en el mundo, el gobierno trabaja para enriquecer las acciones de mitigación y adaptación del cambio climático, con el fin de mejorar la calidad de vida, en términos de bienestar ambiental y social.

La contaminación atmosférica provocada por las emanaciones de gases del transporte automotriz en 1981 alcanzó a dos mil millones de toneladas por año. Los automotores que se movilizan a gasolina emitieron en 1984 más de un millón de toneladas de CO₂, medio millón de toneladas de CO₂, aproximadamente 38.000 toneladas de vapores orgánicos y 15.000 toneladas de óxidos de nitrógeno. Los que se mueven a diésel produjeron aproximadamente

30.000 toneladas de hidrocarburo como hexano, 17.200 toneladas de óxido de nitrógeno, y 18.300 toneladas de partículas.

Las industrias más contaminantes son las que producen sustancias químicas y derivados del petróleo que, en 1984, correspondieron al 17% de las industrias existentes en el país. Se conoce que las refinerías de petróleo en el Ecuador emiten aproximadamente 2.000 toneladas por año de gases como dióxido de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

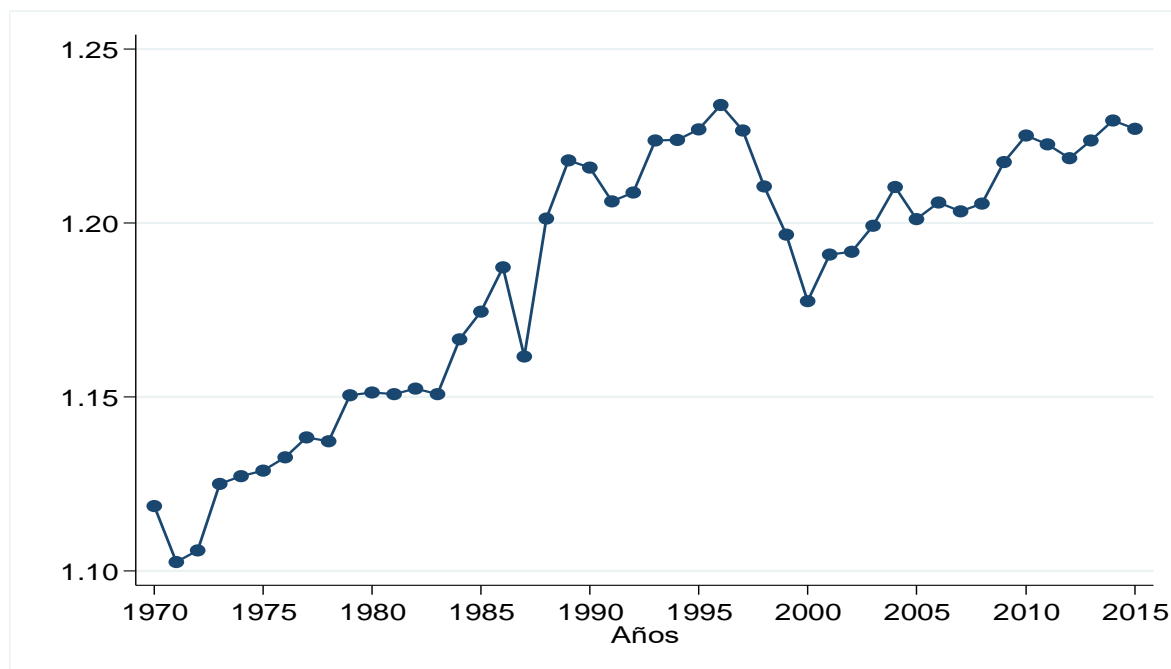
Seguidamente, según la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador (2011), entre los años de 1990 y el 2006, el Ecuador percibió un aumento del 78,7% de las emisiones de CO₂ generadas principalmente por el sector del transporte. Mientras que, a partir del 2006 se reportaron 410,01 toneladas métricas per cápita de CO₂ emanadas por todos los sectores económicos del país, incluyendo el sector de la energía, los procesos industriales, la agricultura, el cambio de uso del suelo, los desechos sólidos, entre otros.

En el año 2006, la contribución de los principales gases en total de emisiones fue: 49% (201,580 kTon CO₂-eq) de óxido nitroso (N₂O), de la cual principalmente vienen de actividades agrícolas; 46% de dióxido de carbono (CO₂), con más del 80% proveniente de USCUS, seguido en menor medida por los sectores de transporte y energía; y un 5% de metano (CH₄) provenientes en un 47% de la agricultura (especialmente prácticas pecuarias) y en un 41% de vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos (Ludeña y Wilk, 2013).

Según, el Ministerio del Ambiente en el 2011, las principales fuentes de emisiones fueron: 51% representado por la Agricultura y ganadería, 39% el Uso del Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUS), 7% energía (incluyendo transporte), 2% de residuos y 0,7% de procesos industriales.

Figura 2

Evolución histórica de la contaminación ambiental, periodo 1970-2015



Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020)

1.2. Evolución del consumo de energía no renovable en Ecuador, periodo 1970-2015

En la Figura 3, se verifica que el consumo de energía no renovable en el Ecuador ha venido presenciando una tendencia creciente a lo largo del periodo de estudio. En los últimos 20 años existió un desequilibrio entre oferta y demanda de energía eléctrica. Por un lado, la demanda se ha incrementado alrededor de un 6,5% anual, mientras que la oferta de energía únicamente se ha incrementado en un 5,15%. La falta de decisión de las diferentes autoridades de turno anteriores al año 2006 no ha permitido el desarrollo de importantes proyectos hídricos y mucho menos la investigación y estudios de otro tipo de energías renovables.

Según, el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2014) informa que el sector petrolero representa el 10% de la actividad económica del Ecuador y que el 84% de la demanda de energía proviene de fuentes fósiles, mientras que el 31% de la energía consumida en el país

es en forma de diésel. El consumo de gasolinas representa el 23% del total de energía demandada y el 13% del consumo corresponde a electricidad.

Los combustibles fósiles y la electricidad son destinados a proveer la fuerza motriz y calor de los procesos productivos industriales que mueven en gran parte el desarrollo de la economía. De 1980 a 2002 los sectores del transporte e industria aumentaron su participación en el total del consumo de energía y representaban en 2006, junto con el sector residencial, el 94% del total. Debido a las características de cada proceso productivo en las diversas ramas industriales, el consumo de energía es más diversificado. El predominante es el fuel oil (35%), seguido por el diésel oil (21%), los productos de la caña (20%) y finalmente la electricidad (15%).

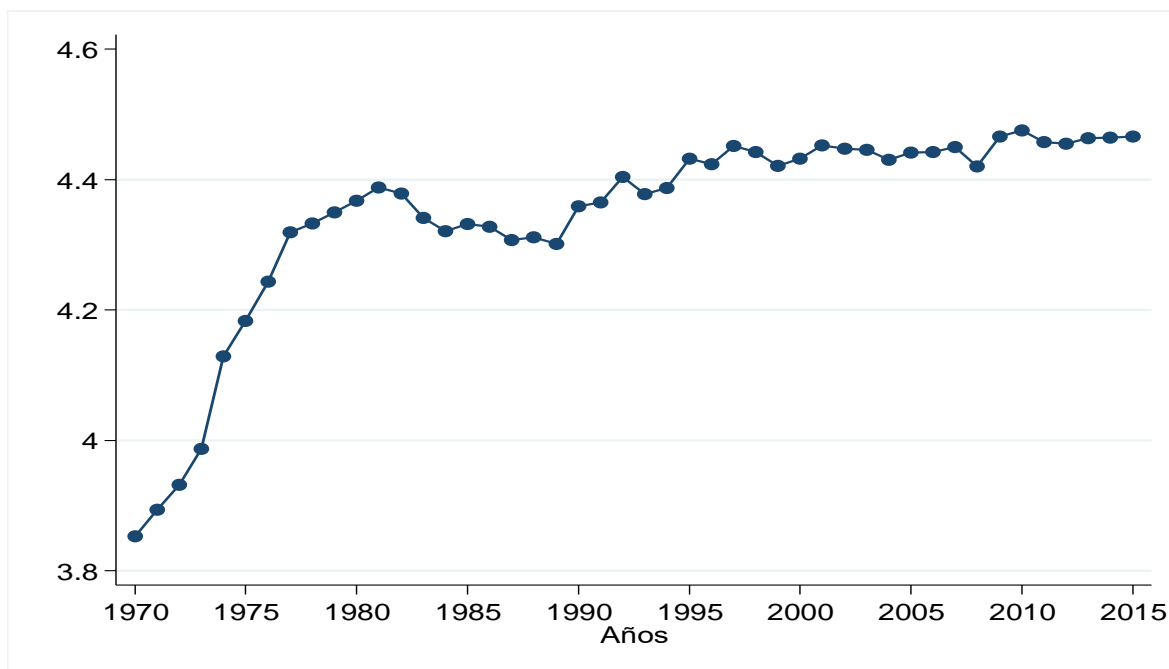
El petróleo es la principal fuente de energía primaria del Ecuador. El sector transporte es el principal demandante de energía. Su consumo creció a una tasa promedio anual del 5,7% en el periodo 2003-2013. El consumo del sector transporte representa el 49% del total de la demanda en el 2013. La industria, el sector residencial, comercial, de servicios y público demandan el 18%, 12% y 4% respectivamente. Mientras que, la generación de electricidad creció a una tasa promedio anual del 6,6%. Aumentó de 12.666 GWh⁴ en el 2003 a 23.923 GWh al 2013.

La política energética para el año 2020, propone importantes reducciones en el consumo: un 30% del consumo per cápita en usos térmicos y un 12% en consumo de energía eléctrica. Para ello se busca por ejemplo en el primer caso introducir paneles térmicos solares, que significarían una sustitución del 7,5% de gas licuado (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable [MEER], 2014).

⁴ Gigavatio hora (GWh) es una medida de energía eléctrica equivalente a la que desarrolla una potencia suministrada de un gigavatio durante una hora.

Figura 3

Evolución histórica del consumo de energía no renovable, periodo 1970-2015



Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020)

1.3. Correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015

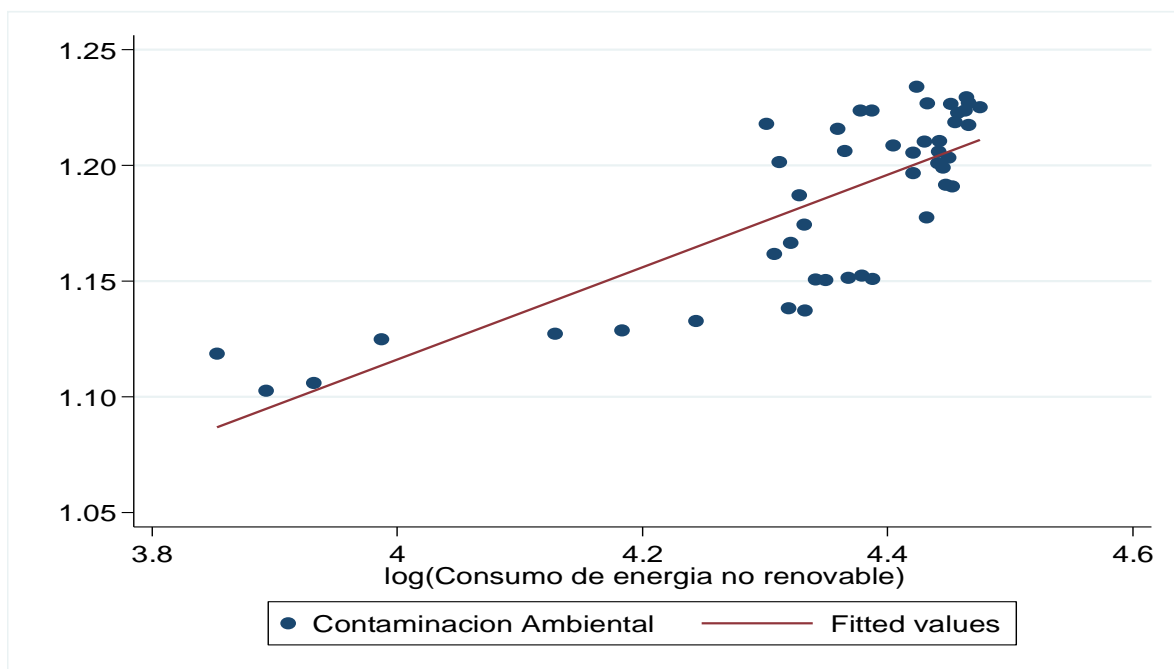
Con la finalidad de observar de manera gráfica la incidencia del consumo de energía no renovable en la contaminación ambiental en Ecuador, se elaboró una gráfica de dispersión, de esta forma la Figura 4, muestra la correlación entre consumo de energía no renovable y contaminación ambiental, constando una relación directa, sin embargo, no tan ajustada, debido a la presencia de ciertos valores atípicos y a la razón de que la dispersión de los datos se localizan un poco alejados de la línea de tendencia. Las variables presentan un grado de asociación de 79,33%; de esta forma, se puede evidenciar que el consumo de energía no renovable si es una variable que se relaciona directamente con la contaminación ambiental.

A medida que aumenta el consumo de energía no renovable, se produce un incremento de la contaminación ambiental, debido a que las actividades antropogénicas son la causa

principal del calentamiento global; los combustibles fósiles son utilizados para producir energía eléctrica y térmica; el uso indiscriminado de estos productos genera contaminantes perjudiciales para la salud y su combustión, extracción, elaboración y transporte generan gases a la atmósfera que provocan el efecto invernadero; el CO₂ es el mayor contaminante y productor del efecto invernadero, es un gas de origen natural generado por la materia orgánica y se produce a partir de la quema de combustibles fósiles y de biomasa, también se emite desde los cambios de uso del suelo y otros procesos industriales. Es así, que se puede afirmar que, las emisiones de CO₂ provienen de la quema de petróleo, carbón y gas para el uso de la energía, la quema de madera y materiales de desecho, y de los procesos industriales (Parra, 2016).

Figura 4

Correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable.



Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020)

2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2

“Estimar la dinámica de corto y largo plazo entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015”.

Primeramente, se partió de la estimación de un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) que nos permitió verificar el efecto que tienen las variables independientes y de control sobre la variable dependiente. Como se observa, en la primera columna de la Tabla 3, se puede evidenciar la regresión teórica (Modelo 1), la cual nos dio como resultado una relación positiva y estadísticamente significativa, por lo cual se puede expresar que un aumento del 1% del consumo de energía no renovable conlleva a un aumento de la contaminación ambiental de 0,184%.

Con estos aspectos nos permiten afirmar que la variable regresora si es un factor relevante que influye en el aumento de los niveles de contaminación del medio ambiente, ya que el petróleo es la principal fuente de energía primaria del Ecuador; por lo tanto, los combustibles fósiles y la electricidad son destinados a proveer la fuerza motriz y calor de los procesos productivos industriales que mueven en gran parte el desarrollo de la economía ecuatoriana.

También, se agregó la política de eficiencia energética en el sector residencial, se puede evidenciar que la política no tuvo el efecto esperado deseado, ya que muestra una relación positiva y estadísticamente significativa, esto se podría explicar que la eficiencia energética no siempre, es equivalente a un menor uso de recursos naturales del planeta y tampoco es sinónimo de una disminución del impacto ambiental, debido a que los incrementos en la eficiencia energética implican una mayor demanda y consumo de energía, el cambio hacia energías renovables y más limpias, llevan a la población a un mayor consumo energético. Se puede observar que, a medida que la política se implementa en un 1%, la contaminación ambiental

aumenta en 0,0197%; cabe mencionar que, fue ejecutada a partir del año 2008, donde se entregaron 3.639.744 focos ahorradores a nivel nacional, con el propósito de reducir los niveles de consumo de energía eléctrica, de disminuir 450.000 ton CO₂/año, fomentar el ahorro energético con beneficios a corto plazo y protección del medio ambiente.

Tabla 3

Resultados de la estimación del modelo por MCO

	Modelo 1	Modelo 2
Consumo de energía no renovable	0,184 ^{***} (10,17)	0,126 ^{**} (3,32)
Política	0,0197 ^{***} (3,79)	-0,00104 (-0,11)
Consumo de energía renovable		-0,0342 (-1,96)
Inversión Extranjera Directa		0,00794 [*] (2,70)
PIB per cápita		0,0485 (1,12)
Constante	0,382 ^{***} (4,91)	0,331 (1,05)
Observaciones	46	46
Adjusted R ²	0,644	0,743

Nota. Los valores entre paréntesis hacen referencia al estadístico t y los asteriscos indican el nivel de significancia de los coeficientes: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

Posteriormente, se efectuó una nueva regresión (Modelo 2) a la cual se incluyó tres variables regresoras, entre ellas, el consumo de energía renovable, la inversión extranjera directa y el PIB per cápita, las mismas que fueron consideradas de acuerdo a la evidencia empírica que se encuentra en la literatura previa, similar a la temática de investigación que se está realizando y que explico en el apartado de análisis de datos, esta inclusión de las variables explicativas se la realizó con el objetivo de dar un mayor ajuste y significancia al modelo y para determinar si las variables tienen una capacidad explicativa sobre la contaminación ambiental en Ecuador

Al mismo tiempo, se apreció al igual que en la regresión básica una relación positiva entre consumo de energía no renovable, a pesar de, que ahora su coeficiente se modificó, se puede afirmar que, a un aumento del 1% de consumo de energía no renovable promueve un aumento de 0,126% en la contaminación ambiental; en cambio la política ya no se muestra estadísticamente significativa pero su relación es inversa, esto se puede explicar, ya que la eficiencia energética es una de las principales variables que inducen una reducción del consumo de energía de origen fósil y permiten desacoplar la trayectoria de la actividad económica, las medidas de eficiencia energética tienen un papel preponderante en la reducción de emisiones GEI, en el sentido que conforme mayores sean las innovaciones tecnológicas en el sector energético, donde su principal fuente son los combustibles fósiles, se puede esperar una mayor la reducción del nivel de intensidad energética y, por ende, una disminución en los niveles de emisiones de gases contaminantes.

Por otro lado, se obtuvo que el consumo de energía renovable tiene una relación inversa con la contaminación ambiental, puesto que, un aumento de 1% del consumo de energía renovable reduce la contaminación en 0,0342%; mientras que la relación con la inversión extranjera directa el coeficiente fue de 0,00794% el cual nos señala que un incremento del 1% de IED genera un aumento de 0,00794% en la contaminación ambiental. Finalmente, al agregar el PIB per cápita existe una relación positiva, es decir que a medida que el PIB per cápita aumenta en 1%, la contaminación aumenta en un 0,0485%.

Al agregar al modelo variables de control, se comprobó un R^2 ajustado de 0,74 que nos indica que las variables explicativas (consumo de energía no renovable, política de eficiencia energética, consumo de energía renovable, IED y PIB per cápita) consideradas en la estimación explican conjuntamente alrededor del 74% de las variaciones de la contaminación ambiental.

Luego de estimar el modelo básico de regresión MCO, se procedió a la verificación de los datos con el fin de garantizar resultados representativos, para lo cual, se empleó pruebas de

diagnóstico de: multicolinealidad, heteroscedasticidad, normalidad y autocorrelación, ver en Anexo 2, con la finalidad de diagnosticar y validar el modelo de regresión lineal múltiple. Al efectuarlas, se pudo corroborar que existe el problema de autocorrelación, para rectificar este problema se efectuó una regresión por mínimos cuadrados generalizados (MCG). A continuación, en la Tabla 4 se presentan los resultados.

Tabla 4

Corrección del modelo mediante MCG

	Modelo 3
Consumo de energía no renovable	0,126** (2,75)
Política	-0,00104 (-0,09)
Consumo de energía renovable	-0,0342 (-1,58)
Inversión Extranjera Directa	0,00794* (2,44)
PIB per cápita	0,0485 (0,96)
Constante	0,331 (0,92)
Observaciones	45
Adjusted R ²	0,436

Nota. Los valores entre paréntesis hacen referencia al estadístico t y los asteriscos indican el nivel de significancia de los coeficientes: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

Como se observa en el modelo 3 solo las variables consumo de energía no renovable y la inversión extranjera directa son estadísticamente significativas, a partir de ello, se puede analizar lo siguiente, el consumo de energía no renovable a medida que aumenta en un 1%, la contaminación ambiental crece en 0,126%, esto comprueba que las emisiones de gases de efecto invernadero resultan del incremento del crecimiento económico y de un mayor consumo de energía no renovable, ya que uno de los determinantes de estos problemas ambientales resulta del uso intensivo de combustibles fósiles, como el petróleo, carbón y gas que son

empleados en la generación de energía para la actividad industrial, comercial y residencial, por tanto, son considerados como los principales contribuyentes de emisiones de GEI en la atmósfera.

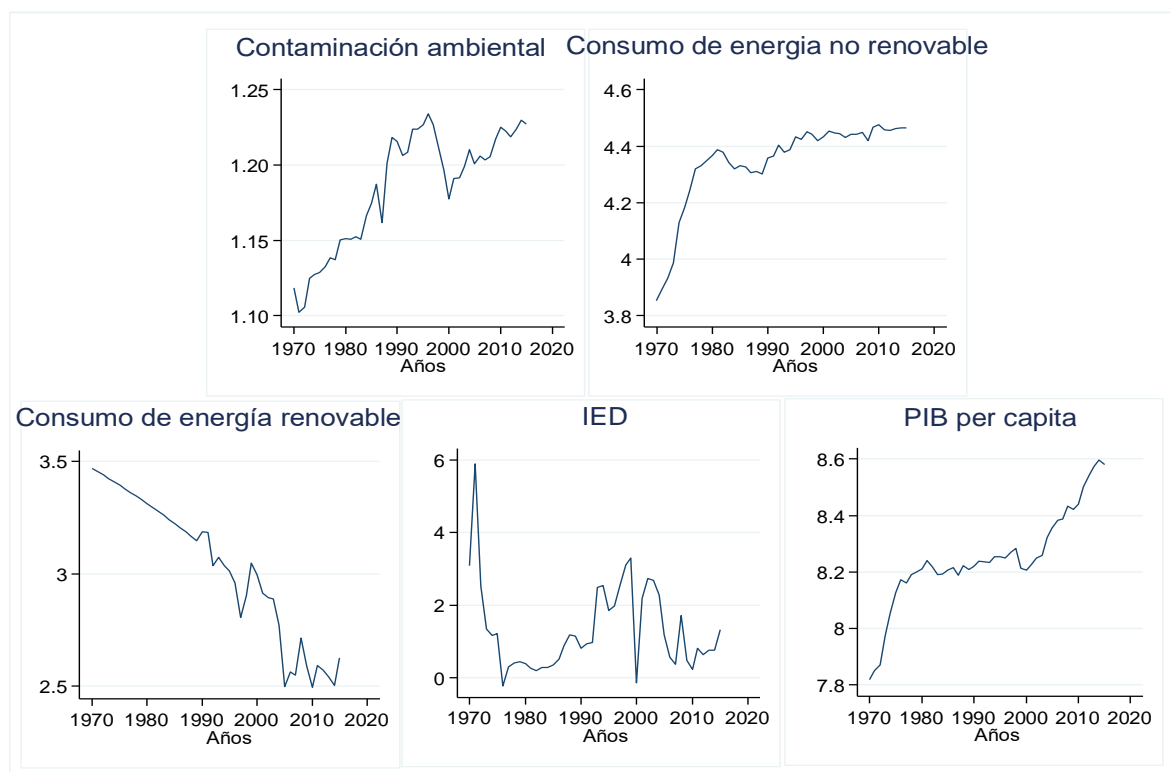
En cuanto, a la inversión extranjera directa, a medida que aumenta en 1%, la contaminación aumenta en 0,0079%, estos resultados comprueban la existencia de la Hipótesis de Refugio de la Contaminación, esto se podría explicar debido a que, en Ecuador no existen políticas ambientales estrictas y eso atrae a inversores extranjeros que introducen grandes empresas en sectores estratégicos de la economía que utilizan recursos energéticos intensivos que provienen de los combustibles fósiles y se dedican a la explotación y extracción masiva de recursos naturales, aumentando así, los niveles de emisiones de contaminantes y provocando un mayor deterioro de la calidad ambiental. La IED si se la regula bien, se podría invertir en tecnologías de alta calidad para los procesos productivos, con el fin de reducir la dependencia de combustibles fósiles y apostar por un mayor consumo de energía proveniente de fuentes renovables, que sean amigables con el medio ambiente.

2.1 Prueba de estacionariedad

Antes de examinar la relación de corto y largo plazo, en la Figura 5 se muestra el comportamiento de las variables incluidas en el modelo econométrico en el periodo de análisis de 1970-2015, se presenció de forma gráfica una conducta tendencial para la contaminación ambiental, consumo de energía no renovable, consumo de energía renovable y PIB per cápita; por lo cual se emplearon pruebas formales desarrolladas por, Dickey y Fuller aumentada (1979), las mismas que fueron contrastadas por las pruebas de Phillips y Perron (1988), con la finalidad de confirmar la estacionariedad de las series de tiempo y establecer el orden de integración de las variables.

Figura 5

Comportamiento tendencial de las variables, periodo 1970 – 2015.



Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Extendiendo el análisis cabe indicar que, la contaminación ambiental, el consumo de energía no renovable, el consumo de energía renovable y el PIB per cápita muestran problemas de estacionariedad, es decir, el problema de raíz unitaria, esto se pudo verificar gracias, a utilización de las dos pruebas formales antes mencionadas, esto se puede constatar en el Anexo 3, para la corrección de este problema es necesario generar primeras diferencias a todas las variables del modelo.

En conjunto, con lo expuesto anteriormente, en el Anexo 3 se puede observar el comportamiento de las variables al aplicarles primeras diferencias, de esta forma se verifica gráficamente que la contaminación ambiental, el consumo de energía no renovable, el consumo de energía renovable y el PIB per cápita pierden su efecto tendencial. En cambio, para comprobar de manera formal que las variables no son estacionarias, se realizó pruebas de

diagnóstico con la finalidad de averiguar si existe la presencia de raíz unitaria en las variables ya en primeras diferencias, de esta forma se puede identificar formalmente en la Tabla 5 que la contaminación ambiental, el consumo de energía no renovable, el consumo de energía renovable y el PIB per cápita pierden su efecto tendencial dado que el valor calculado es mayor al valor crítico del 5%, a pesar de que en ciertos niveles de significancia sea la excepción. De esta manera, se llega a la conclusión de que las variables tienen un orden de integración de I (1).

Tabla 5

Pruebas de raíz unitaria con primeras diferencias

Variables	Prueba de Dickey y Fuller aumentada				Prueba de Phillips y Perron				I(q)
	Valor calculado	1%	5%	10%	Valor calculado	1%	5%	10%	
Contaminación ambiental	-7,128	-3,62	-2,61	-10,6	-44,01	-18,5	-13,1	-10,6	1
Consumo de energía no renovable	-4,305	-3,62	-2,61	-10,6	-27,52	-18,5	-13,1	-10,6	1
Consumo de energía renovable	-6,843	-3,62	-2,61	-10,6	-38,09	-18,5	-13,1	-10,6	1
Inversión extranjera directa	-9,420	-3,62	-2,61	-10,6	-55,11	-18,5	-13,1	-10,6	1
PIB per cápita	-4,365	-3,62	-2,61	-10,6	-28,23	-18,5	-13,1	-10,6	1

Nota. El nivel de significancia del 1% (*), 5% (**) y 10% (***), se encuentra representado por los asteriscos.

2.2 Relación de largo plazo entre las variables

Antes, de la estimación del modelo VAR, es preciso realizar dos pasos: primero, es necesario establecer la longitud óptima de rezagos entre las variables del modelo, para lo cual se aplicó los criterios de información de Akaike (AIC) y Hannan y Quinn (HQIC), los cuales sugieren según los resultados, emplear seis rezagos óptimos, ver Anexo 4. Segundo, se debe emplear este rezago con la finalidad de ejecutar la prueba de cointegración de Johansen, en la Tabla 6 se verifica que el estadístico de la traza (trace statistic) indica que existe dos vectores de cointegración para la relación entre la contaminación ambiental, consumo de energía no

renovable, consumo de energía renovable, IED y PIB per cápita; dado su significancia al 5%, ya que; 29,593 es inferior a 29,68.

Tabla 6

Prueba de cointegración de Johansen

Máximo rank	Parms	LL	Valor propio	Prueba de la traza	5% Valor crítico
0	130	435,687	.	133,509	68,52
1	139	465,452	0,783	73,980	47,21
2	146	487,646	0,680	29,593*	29,68
3	151	499,405	0,453	6,074	15,41
4	154	502,432	0,144	0,020	3,76
5	155	502,442	0,001		

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Posteriormente, se efectuará el modelo VAR antes descrito con la finalidad de conocer si existe una relación de largo plazo entre las variables incluidas en el modelo. En la Tabla 7, se evidencia los resultados en donde, se observa que los valores de $P > \chi^2$ son menores a 0,05; lo que refleja que existe una fuerte relación a largo plazo entre la contaminación ambiental, consumo de energía no renovable, consumo de energía renovable, IED y PIB per cápita, ya que sus valores son estadísticamente significativos. Presenta el modelo un total de 31 parámetros, el error cuadrático medio (RMSE) mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos; en otras palabras, compara un valor predicho y un valor observado o conocido de las variables y el R-sq mide la proporción de variación de la variable dependiente con respecto a la variable independiente, en este caso la contaminación ambiental esta explicada en 83% por el consumo de energía no renovable. Todo el modelo estimado se encuentra en el Anexo 4.

Tabla 7*Modelo VAR a largo plazo*

Ecuación	Parms	RMSE	R-sq	chi2	P>chi2
Contaminación ambiental	31	0,015	0,628	65,711	0,0002
Consumo de energía no renovable	31	0,022	0,830	190,902	0,0000
Consumo de energía renovable	31	0,043	0,942	631,358	0,0000
Inversión extranjera directa	31	0,597	0,896	334,930	0,0000
PIB per cápita	31	0,016	0,909	389,093	0,0000

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

2.3 Relación de corto plazo entre las variables

El modelo VEC se lo planteó con la finalidad de identificar si existe una relación de equilibrio a corto plazo entre las variables de contaminación ambiental, consumo de energía no renovable, consumo de energía renovable, IED y PIB per cápita, descrito en las ecuaciones (8), (9), (10), (11) y (12). Se puede apreciar que, el estadístico “cel” reúne la información de los errores rezagados de cada una de las variables del modelo. Una vez que, se ha desarrollado el modelo VAR de relación a largo plazo, se analiza el modelo de Vectores de Corrección de Error (VEC). En la Tabla 8, se comprueba que el modelo conjuntamente si tiene relación a corto plazo, en donde este error rezago (cel1) es estadísticamente significativo e implica un equilibrio en el corto plazo, esto se explica que, en el nivel naciente del crecimiento económico, la demanda de energía se logra en general mediante el consumo de combustibles fósiles, ya que el país depende en gran parte de estos recursos, como resultado, hasta cierto punto en el corto plazo, el patrón de crecimiento económico tiene consecuencias perjudiciales sobre la calidad ambiental.

Tabla 8*Resultado del modelo corrección de error VEC*

Ecuación	Parms	RMSE	R-sq	chi2	P>chi2
Contaminación ambiental	2	0,0161	0,0465	1,9977	0,3683
Consumo de energía no renovable	2	0,0371	0,0068	0,2821	0,8684
Consumo de energía renovable	2	0,1141	0,0025	0,1020	0,9503
Inversión extranjera directa	2	1,2907	0,1550	7,5231	0,0232
PIB per cápita	2	0,0344	0,0515	2,2246	0,3288
Cell	2	0	1,0000	4,50e+16	0,0000

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

A continuación, en la Tabla 9, se justifica lo anteriormente expuesto, donde el rezago cell continúa siendo estadísticamente significativo, lo que denota que las variables del modelo si presentan un equilibrio en el corto plazo. En el caso, del consumo de energía no renovable a medida que aumenta en 1%, la contaminación ambiental se incrementa en 0,795%; por otro lado, a medida que el consumo de energía renovable aumenta en 1%, la contaminación ambiental se incrementa en 0,361%; con respecto a la IED, cuando se incrementa en 1%, la contaminación ambiental disminuye en -0,062% y finalmente, en relación con el PIB per cápita, a medida que crece en 1%, la contaminación ambiental disminuye en -0,831%.

Tabla 9*Modelo VEC a corto plazo*

Ecuación	Coef.	Std. Err.	Z	P> z 	[95% Conf. Interval]	
Contaminación ambiental	1					
Consumo de energía no renovable	0,795	9,53e-09	8,3e+07	0,000	0,795	0,795
Consumo de energía renovable	0,361	3,72e-09	9,7e+07	0,000	0,361	0,361
Inversión extranjera directa	-0,062	2,99e-10	-2,1e+08	0,000	-0,062	-0,062
PIB per cápita	-0,831	9,54e-09	-8,7e+07	0,000	-0,831	-0,831
Cell	-1	3,85e-09	-2,6e+08	0,000	-1	-1
_Cons	0,027					

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Finalmente, para dar respuesta al segundo objetivo, se procedió a realizar pruebas de pos-estimación, con la finalidad de comprobar que el modelo VAR elegido es efectivo. Por cuanto, al examinar la estabilidad, los valores se ubican dentro del círculo de unidad, demostrando que el modelo cumple con la condición de estabilidad. Consecutivamente, en base a la prueba del multiplicador de Lagrange, se confirma que a partir del tercer retraso desaparece el problema de autocorrelación. Últimamente, de acuerdo con las pruebas de Jarque – Bera, de Asimetría y de Kurtosis los hallazgos revelaron que este modelo se ajusta a las condiciones de normalidad, ver en Anexo 4.

3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3

“Determinar la relación de causalidad entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015”.

Extendiendo con el análisis, una vez determinada la relación que mantienen las variables del modelo a corto y largo plazo, en la Tabla 10 se verifica los resultados de la prueba de causalidad de Granger (1969), los cuales afirman que existe una relación causal bidireccional, es decir, en Ecuador la causalidad se origina desde el consumo de energía no renovable, consumo de energía renovable, IED y PIB per cápita hacia la contaminación ambiental, ya que los valores de la probabilidad de χ^2 son inferiores a 0,05. Resultado que va acorde con la evidencia empírica ya que el petróleo es la principal fuente de energía primaria y, por lo tanto, los combustibles fósiles y la electricidad son destinados a proveer la fuerza motriz y calor de los procesos productivos industriales que tienen un impacto directo en el aumento de los niveles de contaminación.

Tabla 10*Resultados de la prueba de causalidad de Granger (1969)*

Relación causal	Chi2	Prob>ch2	Conclusión
IP → logNER	14,46	0,025	Existe relación de causalidad
logNER → IP	76,98	0,000	Existe relación de causalidad
IP → logER	28,21	0,000	Existe relación de causalidad
logER → IP	224,1	0,000	Existe relación de causalidad
IP → IED	30,13	0,000	Existe relación de causalidad
IED → IP	59,74	0,000	Existe relación de causalidad
IP → logYpc	24,55	0,000	Existe relación de causalidad
logYpc → IP	109,2	0,000	Existe relación de causalidad

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Tal como lo mencionan varios investigadores, las emisiones encuentran su origen en múltiples factores, tales como la población, el crecimiento económico, la estructura económica o la intensidad energética entre otros; también, se ha analizado en Ecuador como la transformación del patrón de consumo energético hacia energías renovables ha influido sobre los niveles de emisión de CO₂. Se tiene en cuenta que emisiones de GEI se encuentran íntimamente relacionadas con la intensidad energética que tiene lugar como consecuencia del desempeño de los diferentes componentes de la actividad económica y, en consecuencia, se trata de una manera de medir la eficiencia energética, siendo asumible que las medidas de I+D+I energéticas vayan encaminadas a reducir el índice de intensidad energética.

La energía se encuentra presente en cada uno de los procesos productivos, funcionamiento de máquinas y tecnologías, transporte, producción de luz, calor y refrigeración, etc.; pero, sobre todo, es sinónimo de bienestar, crecimiento, desarrollo y sostenibilidad. Por ello, la energía renovable se convierte en uno de los sectores determinantes y, a la vez,

dinamizadores en el mundo actual, capaz de llegar a provocar grandes cambios en el ámbito ambiental y cualquier sistema económico.

Los países con un menor ingreso per cápita, muestran un alto nivel de las emisiones con una estructura de la economía apoyada principalmente en la extracción y explotación de recursos naturales, como es el caso de Ecuador; en tal caso, una mejor eficiencia energética, moderados niveles de consumo de combustibles de origen fósil y una mayor preocupación por los temas ambientales, podrían ser clave para la reducción de las emisiones de CO₂.

g. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1

“Analizar la evolución y correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015”.

1.1. Evolución de la contaminación ambiental en Ecuador, periodo 1970-2015

Ecuador se caracteriza por ser entre los diecisiete países megadiversos del mundo, posee una gran riqueza y variedad de recursos naturales, que se concentran en un pequeño territorio y generan gran parte de la economía del país; por otra parte, también ha sufrido un gran impacto de las actividades productivas sobre tales recursos, debido a urgentes necesidades de su población; la mayor ventaja comparativa con la que cuenta el país es su biodiversidad, por ello es fundamental saberla aprovechar de manera adecuada, mediante su conservación y uso sustentable (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2013)

La economía ecuatoriana es altamente vulnerable a los cambios en temperatura y precipitación y el retroceso de los glaciares Andinos, esto se debe al perfil productivo del país que depende en un alto porcentaje del sector agro-exportador primario y las industrias manufactureras asociadas a dicho sector, así como la alta dependencia de los centros urbanos alto andinos del recurso hídrico de sistema de alta montaña y glaciares para el uso de agua potable de consumo humano, es por esto que los impactos debido al cambio climático influenciarán la senda de desarrollo del Ecuador. En este contexto, el Ecuador necesita reducir la vulnerabilidad de su economía al cambio climático, y al mismo tiempo, prepararlo para una senda baja en carbono que limite las futuras emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las posibles sinergias entre las acciones de adaptación y las acciones de mitigación del cambio climático son importantes para sostener un desarrollo sostenible de la economía (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2013).

Desde la década de los 60, el Ecuador entra en una etapa de desarrollo industrial, la disponibilidad financiera que proporcionó el petróleo permitió al Estado incentivar la actividad industrial; desde sus inicios, ésta se localizó en los principales centros urbanos del país, se calcula que de un total de aproximadamente 34.000 establecimientos industriales (entre pequeña, mediana y gran industria), 15.000 (45%) estaban ubicados entre Quito, Guayaquil y Cuenca; además, una de las industrias más contaminantes fue la de sustancias químicas y derivados del petróleo; que se hallaban concentradas en Guayaquil; en segundo lugar, en Quito, la industria alimentaria, que dio paso en ese tiempo a crear altos niveles de contaminación estética y residuos sólidos; y por último, los grupos más contaminantes de químicos y derivados de petróleo, industrias metálicas básicas que se encontraban concentradas en Guayaquil (Landázuri y Jijón, 1988).

Seguidamente, el Banco Central del Ecuador (BCE, 2020) informa que desde la década de los años 70 hasta la actualidad, el Ecuador mantiene un patrón exportador de materias primas; de un total del 100% de exportaciones primarias, el sector petrolero tuvo una participación de 52,73%; lo cual indica que el sector petrolero incide en una mayor participación en las exportaciones ecuatorianas, siendo la principal fuente de ingreso para el presupuesto fiscal.

En cuanto a esta información, se discutirá la evolución de la contaminación ambiental, todo lo referente a ello y porque sigue teniendo una tendencia creciente a pesar que el gobierno ecuatoriano adoptado medidas ambientales para frenar con este problema que afecta la calidad de vida de la población y atenta contra la sostenibilidad del medio ambiente. A partir de 1972, surge un nuevo modelo de estructura económica dejando de ser una economía agrícola a ser una economía productora de petróleo, empieza una sobreexplotación masiva de los recursos naturales y del petróleo, lo cual dio un nuevo comienzo del crecimiento económico acelerado, provocando una mayor contaminación ambiental (Mullo, 2018).

De acuerdo con Bonilla y Luna (2011) encontraron que a partir de 1972, el modelo económico ecuatoriano tuvo un gran cambio, pasando de ser un modelo agroexportador al modelo minero exportador, por la explotación y extracción de hidrocarburos, consumo de energías provenientes de fuentes térmicas e intensificación del sector automotriz; generando una dependencia excesiva de los combustibles fósiles, que además de generar ingresos por la venta petrolera en los mercados internacionales lo cual dio paso a la consolidación del proceso industrial; también, contribuyó a un incremento de las emisiones de CO₂ al medio ambiente.

Para el periodo de 1972 al 1984, según estadísticas del BCE (2020) la producción petrolera se triplicó de 28.578 barriles de petróleo en 1972 a 93.664 barriles para el año 1984, cuya producción fue mediante la operación de la empresa transnacional Texaco-Chevron que actualmente enfrenta una demanda judicial por los daños ambientales causados durante esa época en la región Amazónica Ecuatoriana. Durante la época de 1984 se registra la mayor contaminación ambiental con la emisión de gases de efecto invernadero CO₂ en 2,41 toneladas métricas por el inicio de la explotación masiva del petrolero en los años 70, hasta mediados de los años 80.

A partir del año de 1986 hasta 1989 las emisiones de CO₂, NO₂ y CH₄ mantuvieron un crecimiento promedio de 1,19 toneladas métricas per cápita, esto se debió al problema económico que enfrentaba el país en esa época, donde existió una inestabilidad internacional por la disminución del precio del barril de petróleo y catástrofes naturales lo cual disminuyó la estructura productiva del país; sin embargo, no se logró tener una disminución sostenida de emisiones de agentes contaminantes debido a la variación en la demanda de la energía (Mullo, 2018).

Mientras tanto, en la década de los años 1990-1999, las emisiones continuaron incrementándose en un promedio de 1,21 toneladas métricas per cápita en comparación con la década de los ochenta, esto se produjo debido a las instalaciones de varias plantas generadoras

de electricidad e intensificación de uso de combustibles fósiles en el sector automotriz y por los apagones de algunos establecimientos de atención que funcionaban con plantas generadoras y utilizaban combustibles fósiles para su labor. En cuanto al año de 1995, existió la reducción de demanda por sector industrial, debido a los terremotos y el fenómeno del niño que inutilizaron el oleoducto, paralizando las exportaciones petroleras.

Seguidamente, en el año 2000 se profundizó la crisis económica y se adoptó políticas donde se decretó la dolarización de la economía, pasando oficialmente de 25 mil sucres por un dólar; mientras que, en el año 2003 con la construcción de oleoducto de crudo pesado OCP el Ecuador aumentó su producción petrolera en 25% y las exportaciones de crudo aumentaron en un 40%, por lo cual se incrementó los precios de crudo, lo que se tradujo en mayores emisiones de gases contaminantes pasando de 1,17 a 1,22 toneladas métricas per cápita en 2009; en esa época Ecuador importó energía desde Colombia en las Barcazas, posteriormente con el aumento de caudal por la lluvia se mejoró el sector energético (Foro Economía Ecuador, 2021).

Según, el BCE (2020) en el año 2010 las emisiones de CO₂ de acuerdo a las ramas de la economía del Ecuador, el sector de transporte generaron un 43% de emisiones totales CO₂, y un 22% el sector de generación de electricidad siendo estos dos sectores de mayor contaminación ambiental en el país. El sector de las industrias generó un 10% del total emisiones de CO₂, 8% el sector de construcción y otros sectores, 5% el sector residencial, 3% comercio y servicios, 1% agropecuario y minería, siendo estos sectores los que provocan una menor cantidad de emisiones de gases contaminantes en el país.

Finalmente, en el periodo de 2011 al 2015, el índice de contaminación ha seguido teniendo una tendencia creciente debido a que existió un incremento significativo de la utilización de las siguientes energías: gas licuado, gasolina/alcohol, kerosene/turbo, diésel/oil, electricidad y fue oil; la utilización de estas energías durante este periodo ha generado una mayor emisión de CO₂, NO₂ y CH₄ en el medio ambiente; a pesar de las políticas

implementadas en la nueva constitución del 2008, donde se reconoció oficialmente el derecho a la protección ambiental, desde ahí se ha venido buscando un cambio de la matriz energética fomentando la producción de hidroenergía, gas natural y bioenergía como la utilización de caña como fuente alternativa de energías limpias, sin embargo, no ha cambiado el patrón de producción de energía de petróleo.

1.2. Evolución del consumo de energía no renovable en Ecuador, periodo 1970-2015

Según, la IEA (2017), el sector energético es la fuente más significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, entre los principales gases producidos se encuentran, el Dióxido de Carbono (CO₂) y el Metano (CH₄) procedentes de la quema de combustibles fósiles, así como el de las minas de carbón, y de las instalaciones de hidrocarburos y gas; en particular, las emisiones de CO₂ son el resultado de la quema de estos combustibles para la generación de electricidad, así como el del sector del transporte; asimismo, el sector petrolero y minero, generan un aumento de la concentración de emisiones de dióxido de carbono en la atmósfera provocando una amenaza ambiental incontrolable conocida también, como calentamiento global.

En la matriz energética del Ecuador, el 82% se soporta del consumo de derivados de petróleo, como diésel, gasolina y GLP, quien figura internacionalmente como uno de los países con mayores subsidios a los combustibles, consignando mayor porcentaje a estos subsidios que a educación y salud, que demanda al año más de 3 mil millones de dólares, equivalentes al 17% del Presupuesto General del Estado. El diésel es el derivado más subsidiado y el precio de este producto en el país es aproximadamente el 50% de su costo en el mercado internacional; además, del coste presupuestario y de los impactos ambientales derivados de un mayor consumo, los bajos precios de venta de los hidrocarburos con relación a los mercados internacionales producen desvío de productos hacia las fronteras, representando para Ecuador una pérdida económica significativa (Puig et al., 2018).

A partir de, 1970 se crea en el Ecuador el Fondo Nacional de Electrificación con el fin de ejecutar un Plan de Electrificación que vaya acorde a las necesidades del proceso de transformación energético y desarrollo económico y social que en esa época requería el país, además el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) aumentó su capacidad económica lo cual favoreció notablemente al crecimiento del sector eléctrico; mientras que, a partir de 1972, se asignó alrededor del 17% de los ingresos provenientes de la explotación petrolera para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos y la construcción del sistema de líneas de transmisión que conformen las vías de tránsito de la energía eléctrica desde los recursos hidroeléctricos hacia diferentes regiones del país (Pucachaqui, 2019).

De acuerdo, con Andrade (2011) el uso de gas, sufrió incrementos notables, en 1982 el 33,2% de los hogares utilizaban este combustible para uso doméstico, esta cifra se duplicó en 71,3% en 1995. Sobre todo, en las áreas rurales el consumo se multiplicó por cinco es decir paso de 11,82% al 65,8% durante el periodo de 1982 a 1995. Por otra parte, en los años noventa, el uso y acceso de las familias ecuatorianas a esta fuente de energía era ya generalizado, al año 1995 se observa que 9 de cada 10 hogares urbanos y aproximadamente 7 de cada 10 hogares rurales dependía del gas para uso doméstico, a nivel nacional se utiliza el gas como combustible principal para cocer los alimentos.

Así mismo, Castro (2011), manifestó que, la demanda de energía primaria total de Ecuador creció en el 4,1%¹³ anual entre 1970 y 2008, además, si se compara con América Latina y el resto del mundo para el período 1980-2006, tuvo un notable crecimiento de la demanda de energía de 2,74%; mayor al promedio mundial (1,6%) y al de la región (2%), asimismo, con la explotación petrolera el país emprendió una modernización económica, lo cual se tradujo en un mayor crecimiento del PIB y, por ende, una creciente demanda del sector energético para los procesos productivos.

Seguidamente, si se analiza por décadas, la tasa de crecimiento de mayor consumo de energía no renovable, ocurrió entre el período de 1970-1980 siendo de 6,7%, esto se produjo porque en el país se inició la modernización de la matriz productiva y el uso creciente de combustibles fósiles para transporte y cocción de alimentos de las familias ecuatorianas, que fue favoreció a las mismas, por la implementación de la política de subsidios a la gasolina, diésel y gas. Entre 1980 y 1990 se registra el menor crecimiento de todas las décadas analizadas, 1,6%. Pero este crecimiento aumenta a 2,5% durante la década de 1990-2000; y en los últimos años (2000-2008) ha continuado a un ritmo mayor de 3,5% anual (Organización Latinoamericana de Energía [OLADE], 2011)

El incremento de emisiones de GEI, desde 1990-2010 fue de 46,7%, es decir de 86,5 millones de Toneladas de CO₂-eq a 162,2 millones de toneladas de CO₂-eq; así mismo, los principales causantes de la deforestación han sido, el cambio del uso del suelo, expansión de la frontera agrícola y el sector energético; en cuanto a las emisiones relacionadas con el sector energético son responsables: los centros de transformación (refinerías, centrales eléctricas, entre otros), el combustible para generación termoeléctricas y la quema de combustibles fósiles en la demanda final. Por otra parte, en el 2010, más del 80% del consumo nacional está cubierto por hidrocarburos derivados del petróleo; el transporte es el mayor consumidor de energía del Ecuador: 52% del total por transporte de cargas, liviana y pesada y 35% por consumo industrial y residencial; casi la totalidad de su consumo del transporte es cubierto por combustibles fósiles derivados del petróleo y la energía eléctrica en cambio presenta un consumo distribuido entre tres sectores, siendo el principal la industria, el sector residencial y el comercio y servicios (Almeida, 2015).

En cuanto, al Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2013) entre el periodo de 1970 y 2012 el consumo energético final en el Ecuador creció aceleradamente, en donde el predominio absoluto fueron los derivados del petróleo como el diésel y las gasolinas, en

especial para el sector del transporte; mientras tanto, la estructura del consumo energético final por fuente fue cambiando y la electricidad fue tomando relevancia; no obstante, el diésel mantuvo el primer lugar con el 30%, seguido por la gasolina con el 23%, la electricidad con el 13% y el fueloil con el 9%.

En base a datos recopilados por el Operador Nacional de Electricidad (CENACE), en 2019, el consumo de energía eléctrica alcanzó 25.310 GWh, lo que significó un incremento del 4,5% en relación a la demanda de energía de 2018, año en que el consumo eléctrico fue de 24.213 GWh. Lo importante de destacar de esta situación es que la energía eléctrica suministrada en el país, fue producida en un 90% con fuentes renovables, con lo que se logró la disminución de un 30% en el uso de combustibles fósiles, la misma fue distribuida principalmente a las ciudades de Guayaquil, con un 21.6% y Quito con un 17,5%. Así mismo, cabe recalcar también, que debido al aumento en un 19% de la generación renovable, se incrementó en más de seis veces las exportaciones de electricidad a Colombia y Perú, con una venta de 1765 GWh y 60 GWh, respectivamente, generando un ingreso económico de USD 66,8 millones para las arcas del Estado (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020)

1.3. Correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015

En cuanto a los resultados que se obtuvieron se puede señalar que las variables de interés mantienen una correlación positiva, es decir, en Ecuador el consumo de energía no renovable influye positivamente en la contaminación ambiental. Esta relación coincide con un estudio realizado por Emre Caglar (2020) donde menciona que el consumo de carbón, petróleo y combustibles fósiles, que comenzó a aumentar durante la Revolución Industrial, representa la mayor parte de las emisiones de dióxido de carbono en el medio ambiente. Así mismo, Mahalik et al. (2021) indican que la dependencia masiva del uso de combustibles fósiles (por

ejemplo, carbón, petróleo y gas natural) por parte de las economías de todo el mundo para la industrialización, impulsan al crecimiento intensivo de carbono a la atmósfera.

Existe una amplia literatura que apoya esta relación positiva ya que la mayoría de los países dependen ampliamente de los recursos naturales no renovables para su continuo crecimiento económico, especialmente las economías en desarrollo; como lo explican Destek y Sinha (2020) en el nivel naciente de crecimiento económico, la demanda de energía se logra en general mediante el consumo de combustibles fósiles; este proceso en particular luego emite contaminantes del aire en la atmósfera ambiental, y esto aumenta con el aumento en el consumo de combustibles fósiles; como resultado, hasta cierto punto, el patrón de crecimiento económico tiene consecuencias perjudiciales sobre la calidad ambiental.

Del mismo modo, Belaïd y Zrelli (2019) afirman que los combustibles fósiles siguen siendo la columna vertebral del sistema energético mundial; y que el principal problema ambiental que enfrenta el mundo, surge de las interacciones complejas entre tres parámetros distintos: economía, energía y medio ambiente; la energía es necesaria para la producción económica y, por tanto, para el crecimiento económico y desarrollo de la sociedad, pero también es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero. En la actualidad, aproximadamente el 81% de toda la energía primaria en el mundo se deriva de los combustibles fósiles, y el petróleo representa el 31,9%; el carbón el 27,1% y el gas natural el 22,1% (IEA, 2018).

La energía consumida en la región de la ASEAN es predominantemente no renovable, lo que podría tener implicaciones para el desarrollo sostenible, es por ello que Nathaniel y Khan (2020), en sus hallazgos revelan que esta energía contribuye significativamente a la degradación ambiental ya que la región está creciendo a expensas de su medio ambiente, al mismo tiempo que se entrega al comercio intensivo en emisiones, indican además, que la demanda de energía de la región aumentará en un 80% entre 2013 y 2035. De igual manera,

Awodumi y Adewuyi (2020) encontraron que el consumo de petróleo y gas natural son los principales impulsores del crecimiento entre las economías en desarrollo productoras de petróleo, revelan que el consumo de energía no renovable facilita la producción, pero también es una fuente importante de emisión de carbono, lo que genera un dilema en la prioridad política entre el crecimiento económico y la reducción de la contaminación, al mismo tiempo, explican que, las economías en desarrollo productoras de petróleo, donde la producción y el consumo de petróleo y gas natural son los principales impulsores del crecimiento económico, controlar el nivel de emisiones de CO₂ puede ser un desafío, ya que en última instancia podría retrasar el crecimiento económico.

Finalmente, Nadimi y Tokimatsu (2017) determinan que, el uso excesivo de combustibles fósiles, que consisten principalmente en carbono e hidrógeno, amenazan el clima global, el ecosistema y la salud pública, es por ello que recomiendan la sustitución de energía de combustibles fósiles renovable por energía renovable la cual, reducirá la tasa de degradación ambiental, la contaminación del aire y la emisión de gases de efecto invernadero. De igual forma, Shirwani et al. (2020) recalcan que el principal consumidor de las fuentes de energía no renovables es el sector del transporte en Pakistán, con un consumo total que asciende a casi dos tercios de la utilización total; dado que el sector del transporte se basa principalmente en combustibles fósiles y es un gran consumidor de hidrocarburos no renovables que contribuye alrededor del 13,5% de las emisiones del calentamiento global; es por ello, que los autores recomiendan que las iniciativas de protección ambiental y de sostenibilidad, lógicamente, deberían comenzar desde allí.

2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2

“Estimar la dinámica de corto y largo plazo entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015”.

Ramírez y Antero (2014) preocupados por el latente crecimiento de la contaminación ambiental, indican que estamos presenciando una de las peores crisis ambientales de la historia, a raíz del marcado comportamiento comercial y consumista globalizado que demanda productos con características especiales, que hacen que se formen importantes focos de contaminación; explican que, en todas las fases de elaboración de productos, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final, hay un marcado impacto ambiental que generan una masiva cantidad de residuos; asimismo, este problema se hace tremendamente palpable, cuando hay una gran dependencia de recursos naturales para la industria, el comercio y la construcción, lo que demanda grandes cantidades de energía fósil, al mismo tiempo de la notable explosión demográfica global.

En cuanto a este objetivo, los resultados que se encontraron al estimar el modelo de mínimos cuadrados generalizados (MCO) indicaron que al incrementarse en 1% el consumo de energía no renovable, la contaminación aumenta en 0,184%; y esto a su vez, concuerda con los hallazgos de Saboori y Sulaiman (2013) que afirmaron que el consumo de electricidad, gas y carbón tiene efectos positivos sobre las emisiones de CO₂, el estudio estuvo enfocado en Malasia donde todavía depende de fuentes de combustibles fósiles como el gas natural, el carbón, el petróleo y de la creciente demanda de energía para sostener el crecimiento económico en el futuro, por eso motivo, es inevitable que las emisiones de CO₂ continúen aumentando.

Por tal razón, la mayor parte de la evidencia empírica apunta que el aumento de las emisiones de CO₂ se atribuye principalmente al consumo de energía no renovable, lo que en un futuro esto se reflejara en un agotamiento de los recursos naturales; en este mismo contexto,

Deng et al. (2020) en sus resultados muestran que, en los países de América del Sur, cuando aumenta el consumo de energía no renovable, también aumentan las emisiones de gases contaminantes, ya que dependen en gran medida de la minería y la agricultura, que se desarrolla a través de la destrucción del bosque; en donde, Venezuela es el país que concentra los niveles más altos de emisiones de gases contaminantes con una tendencia creciente. Junto con Venezuela, Argentina y Chile, son el grupo de los tres mayores contaminadores de esta región; mientras que, entre los países con menores emisiones se encuentran Paraguay y Bolivia; en cambio, Uruguay ha sido el único país de la región que ha logrado reducir las emisiones de dióxido de carbono de 77,63 kt en 2011 a 67,47 kt en 2014.

Siguiendo con el análisis, Pandey y Rastogi (2019) en un estudio que realizaron para la India, evidenciaron en sus resultados que la principal contribución en el incremento de las emisiones, es el aumento del 5,7% anual en el suministro total de energía primaria, donde el 57% proviene del carbón; además, la India se caracteriza por ser la sexta economía más grande del mundo con un PIB nominal de US \$ 2,45 y continúa siendo el tercer mayor consumidor de energía del mundo. Al igual que, Alam et al. (2007) en su investigación aplicada a Pakistán, encontraron que un aumento del 1% en la tasa de crecimiento de la intensidad energética provoca casi 0,2% en la tasa de crecimiento de las emisiones de dióxido de carbono y afirman que la contaminación es un efecto secundario inevitable del uso de energía, que nuevamente es un requisito previo para el crecimiento económico.

En lo referente a las variables de control, se constató que el consumo de energía renovable tiene una relación inversa con la contaminación ambiental, puesto que, un aumento de 1% del consumo de energía renovable reduce la contaminación en 0,0342% aunque no es estadísticamente significativa para el modelo; resultado que va en línea con la investigación de Sarkodie et al. (2020) aplicado para China que muestra que, si bien existe un aumento de la participación de las tecnologías de energía de fuentes renovables reduce las emisiones en un

0,38% y la degradación ambiental en un 0,21%, expresan que la combinación de energía renovable y la eficiencia energética proporciona más del 90% de las reducciones necesarias de emisiones de CO₂ relacionadas con la energía.

Seguidamente, Balsalobre et al. (2016) en su investigación pone de manifiesto cómo la innovación tecnológica en materia energética, medido a través del gasto público en I+D+i energético, ha fomentado la corrección medioambiental al ejercer una influencia positiva sobre la reducción en el nivel de emisiones GEI per cápita; mediante un modelo econométrico de datos de panel con efectos fijos para 25 países de la OCDE durante el periodo 1992-2010; explican que, el rol que la energía renovable juega en el desarrollo y transformación económica un papel importante porque constituye un input esencial en la evolución de los diferentes sistemas económicos, tanto para el funcionamiento del conjunto de actividades económicas, como para el devenir diario de la sociedad y la sostenibilidad medioambiental de la misma, ya que, se encuentra presente en cada uno de los procesos productivos, funcionamiento de máquinas y tecnologías, transporte, producción de luz, calor y refrigeración, etc.; pero, sobre todo, es sinónimo de bienestar, crecimiento, desarrollo y sostenibilidad; por ello, se convierte en uno de los sectores determinantes y, a la vez, dinamizadores en el mundo actual, capaz de llegar a provocar los denominados 'cuellos de botella' en cualquier sistema económico.

En cuanto a la relación con la inversión extranjera directa el coeficiente fue de 0,00794% el cual nos señala que un incremento del 1% de IED genera un aumento de 0,00794% en la contaminación ambiental, siendo la variable estadísticamente significativa para el modelo, resultados que concuerdan con Emre Caglar (2020) que encontraron que la IED contribuye a la contaminación ambiental, debido a que los países con políticas ambientales débiles son atractivos para países con políticas ambientales estrictas, la degradación ambiental en el país anfitrión puede aumentar. Así mismo, coinciden Waqih et al. (2019) que realizaron un estudio para la región de la SAARC en donde sus resultados obtenidos confirmaron la existencia de la

Hipótesis de Refugio de la Contaminación, estos hallazgos validan que todos los países utilizados en la muestra, son países en desarrollo y no tienen políticas estrictas para la gestión ambiental, este efecto puede utilizarse para atraer inversores internacionales para participar en el crecimiento económico de estos países, una vez establecidos ahí, traerán sombras negativas al medio ambiente. Posteriormente, Žebryte y Villegas (2016) en un estudio para Chile mencionan que, a pesar de la reestructuración de la institucionalidad ambiental, el país aún posee un estándar deficiente luego de la persistencia de una protección preventiva débil del medio ambiente y la existencia de normativa y políticas públicas que colocan al entorno en subordinación del desarrollo económico; por lo tanto, comprobaron que Chile es un país refugio de contaminación.

Finalmente, al agregar el PIB per cápita existe una relación positiva, es decir que a medida que el PIB per cápita aumenta en 1%, la contaminación aumenta en un 0.0485%, aunque esta variable no es estadísticamente significativa, este resultado concuerda con Alam et al. (2007) en donde explican que un aumento del 1% en el crecimiento del PIB conduce a un aumento del 0,84% en la tasa de crecimiento de las emisiones de dióxido de carbono, esto indica que en Pakistán el proceso de desarrollo económico depende en gran parte del nivel de uso de energía y el resultado de este uso de energía, provoca un incremento de las emisiones de CO₂. De la misma forma, Rentería et al. (2016) ratifican que el crecimiento económico está ligado a progresivos niveles de emisiones de gases de GEI en el largo plazo e indican que el crecimiento económico puede llegar a transformarse en un factor negativo para la calidad ambiental hasta el punto de generar un crecimiento económico nulo.

Continuando con el estudio, en relación a la dinámica de largo y corto plazo, los resultados que arrojaron el modelo de Modelo de Vectores Autorregresivos (VAR) y el Modelo de Corrección de Error (VEC) indicaron que existe un equilibrio tanto en el largo y corto plazo entre las variables; de igual forma, Destek y Sinha (2020) en su estudio para una muestra de

24 países de la OCDE, utilizaron métodos de datos de panel de segunda generación y el modelo de corrección de errores (VEC) encontraron que existe una relación a largo plazo entre las variables, descubrieron que la huella ecológica disminuye con el aumento del consumo de energía renovable y la apertura comercial, mientras que el consumo de energía no renovable conduce a su aumento.

Así mismo, Waqih et al. (2019) determinaron que, junto con el crecimiento económico y el consumo de energía, la Inversión Extranjera Directa tiene un impacto significativo pero mínimo en las emisiones de CO₂ en cuatro países de la región de la SAARC, a saber; Bangladesh, India, Pakistán, Sri Lanka, tanto a largo como a corto plazo. Las estadísticas de largo y corto plazo son significativas y validan la existencia de la curva de Kuznets Ambiental (EKC) en la región, ellos confirman que el avance en el crecimiento económico aumentaría el consumo de energía lo que refleja que, en el corto plazo, no hay alternativa para cubrir esta demanda excepto las fuentes de energía convencionales como la térmica; sin embargo, recomiendan que este efecto podría diluirse, abandonando las fuentes de energía convencionales y dando lugar a recursos energéticos renovables como la solar, eólica, nuclear, hidroeléctrica para satisfacer las necesidades de crecimiento futuro.

En forma similar, según un estudio realizado por Alam et al. (2007) utilizando el enfoque de vector autorregresivo (VAR) para el caso de Pakistán encontraron que a largo plazo la variación de las emisiones de CO₂ está explicada por cambios en la intensidad energética y el crecimiento económico, donde explican que un aumento del 1% en el crecimiento económico a largo plazo aumentará la emisión de CO₂ hasta un 0,84%, mientras que un aumento del 1% en la emisión de CO₂ y la intensidad energética aumentará el nivel de desarrollo hasta un 1,2% y un 0,3%; respectivamente. Lo mismo sucede en un estudio realizado en la región del Medio Oriente y África del Norte (MENA) por Al-Mulali y Ozturk (2015) que utilizaron el modelo VECM (modelo de corrección de errores vectoriales) para probar el intercambio de relaciones

causales a largo plazo entre las variables y en sus resultados revelaron que la huella ecológica, el consumo de energía, la densidad poblacional, el comercio internacional, la industrialización, la estabilidad política y la transparencia del gobierno se encuentran cointegradas, lo que confirma la existencia de la relación de largo plazo entre las variables.

Por otra parte, Rentería et al. (2016) utilizando el modelo de vectores autorregresivos (VAR) para el caso de Ecuador, pudieron concluir que se halló una relación sólida de largo plazo entre las emisiones de dióxido de carbono, consumo de energía y el crecimiento económico, la relación entre de las emisiones de CO₂ y PIB es positiva, es decir, a medida que aumenta el ingreso del país, las emisiones de CO₂ también aumentan, en cuanto a la relación entre las emisiones de CO₂ y el consumo de energía en el largo plazo se evidencia una relación inversa, este es un dato interesante ya que en la mayoría de la evidencia empírica siempre se encuentra un relación directa, los autores justifican que esto se podría explicar debido a que en el largo plazo el país ha logrado optimizar el acceso a tecnologías renovables lo cual permite reducir el uso de energía que proviene principalmente de combustibles fósiles.

Finalmente, Pinzón y González (2018) muestran que al tomar una serie de datos sobre las emisiones de CO₂, consumo de energía y PIB en el periodo 1971-2014, mediante un modelo VEC, pudieron inferir que en Colombia, un aumento del consumo de combustible fósiles, como carbón, gas, petróleo y la extracción de recursos naturales conllevan a un incremento del deterioro ambiental en el corto plazo, explican que el problema medioambiental supone, que en las etapas más tempranas de crecimiento, la degradación ambiental es un coste obligatoriamente necesario en el que se ha de incurrir para poder alcanzar un mayor crecimiento económico. Asimismo, Falconí et al. (2016) asumen que, en el corto plazo el desarrollo económico empeora el medio ambiente; pero en el largo plazo, a partir de un cierto nivel de ingresos, el crecimiento económico provoca menores niveles de contaminación; también, manifiestan, que cuando el ingreso per cápita aumenta, mayor es el nivel de consumo de

materias primas y de energía y por si fuera poco, con el aumento de la población se generan mayores cantidades de residuos; por último, proponen que si la quema de combustibles fósiles es el problema principal, la solución principal es cambiar las fuentes de energía, es decir, descarbonizar y dejar de depender del biocombustible (cuya base es el carbono) que proviene de fósiles (como carbón y petróleo).

En relación a todo lo expuesto en los párrafos anteriores, todo lo planteado en cuanto al problema de investigación y luego de efectuarse la discusión académica oportuna, resulta acertado señalar que la hipótesis planteada, se valida, por lo que se confirma que, el consumo de energía no renovable tiene un efecto positivo a corto y largo plazo sobre la contaminación ambiental en Ecuador; también, es importante resaltar que dicho efecto es estadísticamente significativo.

3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3

“Determinar la relación de causalidad entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015”.

Los resultados de la investigación señalaron que la contaminación ambiental está causada por el consumo de energía no renovable, consumo de energía renovable, IED y PIB per cápita. Esto refleja que el consumo de la energía no renovable es una variable que, si causa a la contaminación ambiental del país durante el periodo de análisis, ya que el consumo de carbón, petróleo y combustibles fósiles, representa la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), esto se debe a que gran parte de las economías de todo el mundo para lograr sus esfuerzos de industrialización, urbanización y presiones demográficas; han optado por la dependencia masiva del uso de combustibles fósiles.

En el nivel naciente de crecimiento económico, la demanda de energía se logra en general mediante el consumo de combustibles fósiles, este proceso en particular luego emite

contaminantes del aire en la atmósfera ambiental, y esto se incrementa, con el aumento del consumo de combustibles fósiles; como resultado, hasta cierto punto, el patrón de crecimiento económico tiene consecuencias perjudiciales sobre la calidad ambiental; pero, tan pronto como el crecimiento alcanza un cierto grado, la concientización ambiental insiste a los legisladores y a las industrias a reflexionar sobre tecnologías menos contaminantes y recursos de energías renovables y, por lo tanto, el patrón de crecimiento económico da como resultado una disminución de la degradación ambiental (Destek y Sinha, 2020).

Los combustibles fósiles siguen siendo la columna vertebral del sistema energético mundial, el nivel de contaminación liberado a la atmósfera ha aumentado significativamente desde el comienzo de la era industrial; posteriormente, en las últimas décadas, el cambio climático se reconoció como el principal problema ambiental que enfrenta el mundo, que es un fenómeno intrincado que surge de interacciones complejas entre tres parámetros distintos: economía, energía y medio ambiente; la energía es necesaria para la producción económica y, por tanto, el crecimiento económico y el desarrollo de la sociedad, pero también es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (Belaïd y Zrelli, 2019).

Esto se puede confirmar en un estudio realizado por Nathaniel y Iheonuz (2019) que encontraron una causalidad unidireccional desde el consumo de energía renovable y no renovable hacia las emisiones de CO₂; lamentablemente, la mayoría de los países africanos que fue objeto de estudio, todavía generan energía a partir de fuentes no renovables que fomentan las emisiones y degrada el medio ambiente; así mismo, Bélaïd y Youssef (2017) en sus resultados pudieron revelar que existe una relación causal unidireccional a largo plazo, que va a partir, del crecimiento económico hacia las emisiones de CO₂, pero no al revés, implica que la disminución de las emisiones de CO₂ significa la disminución del crecimiento económico; otro resultado importante es que el consumo de electricidad renovable y no renovable de Granger provoca las emisiones de CO₂ a largo plazo; esto significa que un

aumento en el consumo de electricidad provoca un aumento de las emisiones de CO₂; por lo tanto, una forma adecuada de disminuir las emisiones de CO₂ es aprovechar el enorme potencial de las fuentes de energía renovables que posee Argelia, esto podría proporcionar enormes beneficios en términos de seguridad energética.

Del mismo modo, Wang y Dong (2019) indican que existen relaciones de causalidad bidireccionales entre la huella ecológica, el PIB, el consumo de energía no renovable y la urbanización; en contraste, se encuentra que la causalidad unidireccional va desde el uso de energía no renovable hacia la huella ecológica; explican que el desarrollo económico es uno de los factores que causan la degradación ambiental en África subsahariana, ya que está relacionado con un mayor uso de energía de combustibles fósiles; la creciente demanda de energía de combustibles fósiles puede ejercer un efecto negativo sobre el medio ambiente ecológico, especialmente en Botswana y Sudáfrica, ya que tiene una tasa promedio de 65,2% y 86,3% para el uso de energía no renovable.

Por otra parte, Saboori y Sulaiman (2013) en su investigación realizada en Malasia, explican los resultados de la causalidad de Granger a largo plazo; muestra que existen relaciones causales bidireccionales entre crecimiento económico, consumo de energía, emisiones de CO₂, consumo de carbón, consumo de gas, consumo de electricidad y consumo de petróleo, esto implica que cualquier política de conservación relacionada con el consumo de carbón, gas, electricidad y petróleo puede reducir las emisiones de CO₂; sin embargo, al mismo tiempo, obstaculizará el incremento del PIB; mientras que, a corto plazo, solo existe una relación causal unidireccional entre el consumo de gas y el PIB. Esto implica que la disminución del consumo de energía, especialmente el carbón, el petróleo y la electricidad, parece ser una forma eficaz de controlar las emisiones de carbono sin frenar el crecimiento económico a corto plazo.

Seguidamente, Khan et al. (2021) en un estudio realizado para EE. UU, sus resultados confirman que existe una causalidad bidireccional entre los recursos naturales y las emisiones de CO2 como, entre los recursos naturales y la huella ecológica; ya que, la naturaleza y sus recursos están estrechamente asociados y son parte integral del sistema socioeconómico, además, la prosperidad de las sociedades humanas depende en gran medida de estos recursos, teniendo en cuenta que, en las primeras fases del desarrollo económico, las personas consumen energía más rápidamente que en la actualidad, sin tener en cuenta las consideraciones ambientales; pero que, a medida que la calidad de vida mejora en la última fase del desarrollo económico, las economías consideran los efectos de la degradación ambiental y comienzan a demandar recursos renovables, amigables con el medio ambiente y energéticamente eficientes; así mismo, destacan que una población en crecimiento, está vinculada al uso de energía y las emisiones de GEI, que son factores cruciales en el cambio climático global.

Continuando con el análisis, Mahjabeen et al. (2020) encontraron que existe un nexo causal entre el consumo de energía-estabilidad institucional-calidad ambiental para un grupo de países D-8 durante el periodo 1990-2016, enfatizan que la muestra seleccionada enfrenta desafíos energéticos multifacéticos ya que sus actividades económicas se están ampliando con un aumento paralelo de la demanda de energía que se cubre principalmente con fuentes convencionales como el gas, carbón, petróleo, etc.; y que además, se están agotando paulatinamente y que sus precios son muy volátiles, también explican que, son considerados países de más rápido crecimiento; que al mismo tiempo, importan fuentes de energía no renovables; por lo que, se ven afectados negativamente por las fluctuaciones de los precios en el mercado internacional y que adicional a ello, también se caracterizan por una baja calidad institucional y largas demoras en los procedimientos, así como por necesidades de inversión impredecibles debido a la corrupción y la interferencia jerárquica.

Por otro lado, Asongu et al. (2020) mediante la prueba de causalidad de Granger, sus resultados respaldan una relación causal bidireccional entre las emisiones contaminantes, el consumo de electricidad, el crecimiento económico y las emisiones contaminantes; debido a que, la energía desempeña un papel importante en el crecimiento y el desarrollo económico socioeconómico de las naciones en desarrollo y desarrolladas, sobre todo en África. Asimismo, revelan que la fuente de energía de combustibles fósiles ha dado lugar a dos grandes problemas para estas economías; primero, el vínculo positivo entre la energía y la expansión económica se traduce en un mayor consumo de energía, lo que conduce a mayores emisiones de dióxido de carbono debido al consumo de energía de combustibles fósiles, que es nocivo para el medio ambiente y el ecosistema; en segundo lugar, el alto agotamiento de los recursos energéticos no renovables; en los próximos 25 años, se espera que el uso de energía de África se vea influenciado por una población en rápido crecimiento y altas actividades económicas, lo que a su vez afectará a los mercados energéticos mundiales.

Finalmente, Ozcan et al. (2020) manifiestan que la interdependencia entre el consumo de energía, el crecimiento económico y la degradación ambiental se ha convertido en una importante prioridad de política pública entre los países de la OCDE, sus resultados confirman un vínculo de causalidad bidireccional entre el consumo de energía y los indicadores de calidad ambiental, indican la presencia de un compromiso recíproco entre la demanda de energía y la calidad ambiental, explican que es probable que en un nivel creciente de consumo de energía se produzca más contaminación ambiental y presión al agotar las fuentes de energía de origen fósil y por eso se emita más emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al aire; sin embargo, como respuesta a esta situación, las economías de la OCDE han estado transformando sus estructuras de demanda de energía de fuentes de energía no renovables a renovables.

CONCLUSIONES

Luego de haber dado respuesta a cada uno de los objetivos específicos se puede concluir que, se cumplió la hipótesis planteada, de que los niveles de contaminación ambiental se incrementan como resultado de un mayor consumo de energía no renovable; y que, existe una dinámica de corto y largo plazo entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable durante el periodo de estudio; a partir de ello se desprenden también, las siguientes conclusiones:

En el Ecuador, a partir de la década de los 70, surge un nuevo modelo de estructura económica dejando de ser una economía tradicional agrícola a ser una economía productora de petróleo, empieza una sobreexplotación masiva de los recursos naturales, dando paso a un crecimiento económico acelerado, que provocó una mayor contaminación ambiental; es por ello que surge la necesidad de desarrollar un modelo que explique la relación entre la contaminación ambiental y el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles, para ello se desarrolló un índice a partir de tres medidas como son el metano (CH₄), las emisiones de dióxido de nitroso (NO₂) y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que captura de forma más integral la contaminación ambiental, con la finalidad de generar un nuevo aporte a la investigación científica, diferenciándose de los estudios tradicionales.

Primeramente, mediante un modelo de MCO, se encontró una relación directa entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en Ecuador, esto permitió comprobar que, al incrementarse en 1% el consumo de energía no renovable, la contaminación aumenta en 0,126%, debido a que el país todavía depende de fuentes de combustibles fósiles como el gas natural, el carbón, el petróleo y de la creciente demanda de energía para sostener el crecimiento económico en el futuro, por ese motivo, es inevitable que las emisiones de CO₂ no sigan aumentando. Con estos aspectos nos permiten concluir que la variable regresora si es

un factor relevante que influye en el aumento de los niveles de contaminación en el medio ambiente.

Seguidamente, mediante técnicas de cointegración de series de tiempo, entre ellas, modelos de Vectores Autorregresivos (VAR), de Corrección de Error (VEC), con la finalidad de demostrar si existe una dinámica de largo y corto plazo, se comprobó la existencia de equilibrio entre el consumo de energía no renovable, el consumo de energía renovable, IED, PIB per cápita y la contaminación ambiental. Las estadísticas de largo y corto plazo son significativas y validan la existencia de la hipótesis planteada, de esta manera se confirma, de que los niveles de contaminación ambiental se incrementan como resultado de un mayor consumo de energía no renovable en el país. En conclusión, se ratifica que el avance en el crecimiento económico, aumenta el consumo de energía en Ecuador; lo que refleja que, en el corto plazo, no hay alternativa para cubrir esta demanda con las fuentes de energía convencionales, que son extraídos y transportados desde su lugar de origen hasta las centrales de generación eléctrica en las que deben ser quemados, provocando la liberación de gases contaminantes a la atmósfera; sin embargo, se recomienda que este efecto podría diluirse en el largo plazo, abandonando las fuentes de energía fósiles y dando lugar a recursos energéticos renovables como la solar, eólica, nuclear, hidroeléctrica para satisfacer las necesidades de crecimiento económico futuro.

Finalmente, mediante la prueba de causalidad de Granger (1969), se concluyó que en Ecuador la causalidad se origina desde el consumo de energía no renovable hacia la contaminación ambiental; dando paso, a la existencia de una causalidad bidireccional, ya que el consumo de carbón, petróleo y gas, representa la mayor parte de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), esto se debe a que gran parte de las economías de todo el mundo para lograr sus esfuerzos de industrialización, han optado por la dependencia masiva del uso de fuentes convencionales, además, los combustibles fósiles y la electricidad son destinados a proveer la

fuerza motriz y calor de los procesos productivos industriales que mueven en gran parte el desarrollo de la economía ecuatoriana.

RECOMENDACIONES

Luego de desarrollar la presente investigación, es preciso resaltar las siguientes recomendaciones:

Las consecuencias irreversibles de la degradación ambiental incentivan a la búsqueda de factores que permitan la reducción de los niveles de emisión de gases de efecto invernadero (GEI); por eso, es urgente la necesidad de diseñar y aplicar políticas que promuevan un desarrollo económico sustentable (mayor regulación de las empresas industriales, que todas ellas cuenten con las dos certificaciones ambientales, la certificación punto verde y la certificación carbono neutro, con el objetivo de incentivar, a emplear nuevas y mejores prácticas productivas y de servicios); y se promueva una producción más amigable con el medio ambiente.

Ecuador ha invertido importantes esfuerzos en diversificar su matriz energética y desplazar el uso de combustibles fósiles en la generación de energía; de esta manera, se ha logrado generar hasta un 90% de electricidad con fuentes de energía limpia en el Sistema Nacional Interconectado; cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos que son fuente de vida y contribuyen a la producción agrícola y de energía eléctrica, por eso, se recomienda usar eficientemente este recurso que contribuye a la generación de una medida de largo plazo para cuidar no solo el agua sino también el medio ambiente y reducir las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂). Esto se podría lograr a través de la creación de Fondos de Agua, por medio de la organización The Nature Conservancy (TNC) y sus aliados, que ayudan a las ciudades a proteger sus fuentes de agua, mediante la utilización de mecanismos financieros innovadores cuya meta es asegurar el financiamiento de largo plazo para la conservación de fuentes clave de agua, las cuales se basan en asociaciones entre comunidades urbanas y rurales, propietarios de la tierra y organismos públicos de agua, ciudades, empresas y otros actores interesados en proteger las fuentes de agua de las que dependen.

Por otro lado, se puede incrementar la producción y el consumo de energía sostenible mediante la aplicación de mecanismos de presión fiscal (Impuesto Ambiental a la contaminación ambiental y el impuesto redimible a las botellas plásticas no retornables, mismos que se encuentran regulados en la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los ingresos del Estado), aunque es una política muy práctica, se sugiere a los encargados de turno, que lo hagan de manera cuidadosa, una aplicación estricta de impuestos y normas reguladoras ambientales exigentes, puede retrasar el crecimiento económico y si no se desarrolla una buena estrategia de transición del sector de energía no renovable al sector de energía renovable, la economía va seguir utilizando masivas fuentes de energía convencionales que atentan contra la calidad ambiental y el agotamiento de los recursos naturales.

Asimismo, se recomienda mejorar la estructura de la industria y la inversión en tecnologías de fuentes renovables que requiere de una inversión inicial baja; pero antes de ello, es necesario identificar las limitaciones propias del país (crisis políticas y económicas, corrupción, deuda externa alta, principal fuente de ingresos el petróleo, mano de obra no calificada); ya que, si no cuenta con los recursos necesarios, no se podrá financiar ni adquirir nuevas tecnologías. Por otro lado, el uso de fuentes de energía limpia puede controlar y mitigar la contaminación ambiental. También, es muy importante que se fortalezcan alianzas público-privada para realizar un esfuerzo conjunto y regular la degradación ambiental. Sobre todo, los responsables de la formulación de políticas no solo deben buscar la cooperación entre ellos, sino también fortalecer la colaboración internacional, las lecciones aprendidas de otros países ayudará aún más a Ecuador a lograr el equilibrio necesario entre el crecimiento económico y un medio ambiente sustentable.

Seguidamente, se deben establecer más proyectos de ahorro de energía (proyecto de eficiencia energética en el sector residencial, implementación de focos ahorradores y sector público, alumbrado público eficiente) con el fin de reducir la cantidad de demanda de energía,

ya que las estructuras energéticas disponibles ejercen una presión significativa sobre el medio ambiente; esto tiene sentido, en términos de evitar el uso excesivo de recursos, ya que proviene de fuentes convencionales como son los combustibles fósiles, el uso excesivo de los recursos naturales debe controlarse mediante una gestión eficiente de los recursos (menor explotación de los recursos naturales), una buena gobernanza y estabilidad política, dado que el papel de las instituciones es esencial para contribuir a una convivencia justa y democrática, las autoridades reguladoras deben garantizar la transparencia y la rendición de cuentas por el uso sostenible de los recursos naturales y se debería proporcionar más tecnología e innovación en los sectores energéticos, con el fin de producir energía más limpia y lograr un desarrollo sostenible.

Finalmente, el gobierno debería establecer medidas estratégicas para diversificar la matriz energética que refuerce los proyectos de energía sostenible existentes, que permitan mantener un proceso de crecimiento económico sostenible sin comprometer la calidad ambiental, asimismo, seleccionando otras formas de generación de riqueza que tome en cuenta los propósitos de sustentabilidad y que ayuden a reducir la destrucción del medio ambiente, convendría proteger y preservar los propios recursos naturales, pues que los mismos, serán la base de las actividades económicas, que conducirán al crecimiento y desarrollo económico futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, S., y Nsiah, C. (2019). Reducing carbon dioxide emissions; Does renewable energy matter? *Science of the Total Environment*, 693, 133288.
- Águila, E., Sohr, R., Parker, C., y Zanelli, J. (2011). Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina: los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático. In *Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO*.
- Al-Mulali, U., y Ozturk, I. (2015). The effect of energy consumption, urbanization, trade openness, industrial output, and the political stability on the environmental degradation in the MENA (Middle East and North African) region. *Energy*, 84, 382–389.
- Alam, S., Fatima, A., y Butt, M. S. (2007). Sustainable development in Pakistan in the context of energy consumption demand and environmental degradation. *Journal of Asian Economics*, 18(5), 825–837.
- Almeida, D. (2015). *Fiscalidad y cambio climático: El caso de Ecuador*. Buenos Aires, Argentina.
- Alola, A. A., Bekun, F. V., y Sarkodie, S. A. (2019). Dynamic impact of trade policy, economic growth, fertility rate, renewable and non-renewable energy consumption on ecological footprint in Europe. *Science of the Total Environment*, 685, 702–709.
- Alvarado, R. (2011). Measuring the competitiveness of the provinces of Ecuador. Munich Personal RePEc Archive, 34244.
- Andrade, S. (2011). El precio social del gas licuado de petróleo en el Ecuador: Crisis de Gobernanza. In FLACSO.
- Antle, J. M., y Heidebrink, G. (1995). Environment and development: theory and international evidence. *Economic Development & Cultural Change*, 43(3), 603–625.
- Anwar, A., Siddique, M., Eyup Dogan, & Sharif, A. (2021). The moderating role of renewable and non-renewable energy in environment-income nexus for ASEAN countries:

- Evidence from Method of Moments Quantile Regression. *Renewable Energy*, 164, 956–967.
- Asongu, S. A., Agboola, M. O., Alola, A. A., y Bekun, F. V. (2020). The criticality of growth, urbanization, electricity and fossil fuel consumption to environment sustainability in Africa. *Science of the Total Environment*, 712, 136376.
- Awodumi, O., y Adewuyi, A. (2020). The role of non-renewable energy consumption in economic growth and carbon emission: Evidence from oil producing economies in Africa. *Energy Strategy Reviews*, 27, 100434.
- Ayres, R., y Kneese, A. (1970). Production, consumption and externalities. *American Economic Review*, 59(9), 282–297.
- Balsalobre, D., Álvarez, A., Olaya, A., y Cantos, J. (2016). La curva medioambiental de kuznets y la innovación energética en países de la OCDE. *Universidad de Castilla La Mancha*, 1–23.
- Banco Central del Ecuador [BCE]. (2020). Cuentas Nacionales Trimestrales Del Ecuador Resultados De Las Variables Macroeconómicas, 2019.Iv. Banco Central Del Ecuador, 27.
- Bélaïd, F., y Youssef, M. (2017). Environmental degradation, renewable and non-renewable electricity consumption, and economic growth: Assessing the evidence from Algeria. *Energy Policy*, 102(December 2016), 277–287.
- Belaïd, F., y Zrelli, M. H. (2019). Renewable and non-renewable electricity consumption, environmental degradation and economic development: Evidence from Mediterranean countries. *Energy Policy*, 133(August), 110929.
- Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2013). *ECUADOR: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático*. Marco de La Preparacion de La Estrategia 2012-2017 del BID en Ecuador, 1–29.

- Bonilla, A., y Luna, M. (2011). Estado del País. In Informe Cero. Ecuador 1950-2010.
- Castro, M. (2011). Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador (CEDA).
- Catalán, H. (2014). Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable. *Economía Informa*, 19–37.
- Celemín, J. (2007). El estudio de la calidad de vida ambiental: definiciones conceptuales, elaboración de índices y su aplicación en la ciudad de Mar del Plata, Argentina. *Hologramática*, 7(1), 71–98.
- Coase, R. (1960). The Problem of Social Cost. *The Journal of Law and Economics*, 59(3), 1.
- Correa, F. (2006). Antecedentes y evolución de la economía ecológica. *Semestre Económico*, 9(17), 13–41.
- Correa, F., Vasco, A., y Pérez, C. (2005). La Curva Medioambiental De Kuznets: Evidencia Empírica Para Colombia Grupo De Economía Ambiental (GEA). *Semestre Económico*, 8(15), 13–30.
- Deng, Q., Alvarado, R., Toledo, E., y Caraguay, L. (2020). Greenhouse gas emissions, non-renewable energy consumption, and output in South America: the role of the productive structure. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), 14477–14491.
- Destek, M. A., y Sinha, A. (2020). Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118537.
- Dogan, E., y Inglesi-Lotz, R. (2017). Analyzing the effects of real income and biomass energy consumption on carbon dioxide (CO₂) emissions: Empirical evidence from the panel of biomass-consuming countries. *Energy*, 138, 721–727.
- European Environmental Agency [EEA]. (2020). Greenhouse gas emissions from waste. https://www.eea.europa.eu/highlights/archive?b_start:int=50&c7=en.

- Engels, F. (1845). La situación de la Clase Obrera en Inglaterra. *Departament d'Història Moderna i Contemporània – Universitat Autònoma de Barcelona*, 1–226.
- Emre, A. (2020). The importance of renewable energy consumption and FDI inflows in reducing environmental degradation: Bootstrap ARDL bound test in selected 9 countries. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121663.
- Falconí, F., Burbano, R., y Cango, P. (2016). La discutible curva de Kuznets. *FLACSO*, 1–19.
- Gómez, J. (2003). Economía ambiental, una retrospectiva teórica. *Apuntes Contables*, 0(5).
- Gómez, L., Vargas, E., y Posada, L. (2007). *Economía Ecológica-bases Fundamentales*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Granger, C. W. J. (1969): “Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods”. *Econometrica*. 37,424-438.
- Grossman, G., y Krueger, A. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research*, 3914.
- Gujarati, D., y Porter, D. (2010). *Econometria (Quinta)*. McGraw-Hill.
- Hotelling, H. (1931). The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy*, 39(2), 137–175.
- Indicadores de Desarrollo Mundial [WDI]. (2020). Banco Mundial: Data Ecuador. <https://datos.bancomundial.org/indicador>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2018). Waste Management, In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- International Energy Agency [IEA]. (2018). Global Energy and CO2 Status Report. OECD/IEA 2018.

- Jaria, J. (2011). *La cuestión ambiental y la transformación de lo público*. Valencia: España: Tirant lo Blanch.
- Jevons, W. (1865). The Coal Question; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines. *Ecological Economics*, 82, 97–103.
- Kaplan, M. (1995). La crisis ambiental: análisis y alternativas. Pemex: *Ambiente y Energía*. Los Retos Del Futuro., 289.
- Khan, I., Hou, F., y Le, H. P. (2021). The impact of natural resources, energy consumption, and population growth on environmental quality: Fresh evidence from the United States of America. *Science of the Total Environment*, 754, 142222.
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1–28.
- Landázuri, H., & Jijón, C. (1988). *El medio ambiente en el Ecuador*. Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales, 204.
- Lecaros, G., y Viale, A. (2008). Manual de Estadísticas Ambientales Andinas. *Secretaría General de La Comunidad Andina*.
- Leef, E. (2004). *Racionalidad Ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*.
- León, Y. (2017). Algunos efectos de la energía en el medio ambiente. *Revista IN FACES*, Universidad de Carabobo.
- Ludeña, C., y Wilk, D. (2013). ECUADOR : Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Banco Interamericano de Desarrollo, 1–29.
- Mahalik, M. K., Mallick, H., y Padhan, H. (2021). Do educational levels influence the environmental quality? The role of renewable and non-renewable energy demand in selected BRICS countries with a new policy perspective. *Renewable Energy*, 164, 419–432.
- Mahjabeen, Shah, S. Z. A., Chughtai, S., y Simonetti, B. (2020). Renewable energy,

- institutional stability, environment and economic growth nexus of D-8 countries. *Energy Strategy Reviews*, 29, 100484.
- Malenbaum, W. (1978). *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*. McGraw-Hill. New York, 126 pp.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014). *Políticas Energéticas en Ecuador*. 28.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2020). *Consumo de energía eléctrica en el Ecuador*.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAE]. (2016). *Resumen del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador. Serie Temporal 1994-2012*, 28.
- Moutinho, V., Varum, C., y Madaleno, M. (2017). How economic growth affects emissions? An investigation of the environmental Kuznets curve in Portuguese and Spanish economic activity sectors. *Energy Policy*, 106(March), 326–344.
- Muchran, Idrus, A., Badruddin, S., Tenreng, M., y Kanto, M. (2020). Influence of the renewable and non-renewable energy consumptions and real-income on environmental degradation in indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(1), 599–606.
- Mullo, A. (2018). Crecimiento Económico y medio ambiente: Aplicación de la curva ambiental de Kuznets para el Ecuador, periodo 1970-2015. *Universidad Nacional de Chimborazo*.
- Nadal, A., y Aguayo, F. (2020). Los motores de la degradación ambiental “El modelo macroeconómico y la explotación de los recursos naturales de America Latina.” *CEPAL*.
- Nadimi, R., y Tokimatsu, K. (2017). Analyzing of Renewable and Non-Renewable Energy consumption via Bayesian Inference. *Energy Procedia*, 142, 2773–2778.
- Naredo, J. (2002). *Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva*. Polis:

- Naredo, J., y Valero, A. (1999). Desarrollo económico y deterioro ecológico. In *Fundación Argentaria* (p. 374).
- Nathaniel, S., y Khan, S. A. R. (2020). The nexus between urbanization, renewable energy, trade, and ecological footprint in ASEAN countries. *Journal of Cleaner Production, 272*, 122709.
- Nathaniel, S. P., y Iheonu, C. O. (2019). Carbon dioxide abatement in Africa: The role of renewable and non-renewable energy consumption. *Science of the Total Environment, 679*, 337–345.
- Nwaka, I. D., Nwogu, M. U., Uma, K. E., y Ike, G. N. (2020). Agricultural production and CO2 emissions from two sources in the ECOWAS region: New insights from quantile regression and decomposition analysis. *Science of the Total Environment, 748*, 141329.
- OLADE. (2011). *Precios de la Energía en América Latina Y El Caribe*. 185.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018). Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado. <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>.
- Ovalle, M. (2018). 14 impactantes cifras sobre el deterioro del medio ambiente. *LADERA SUR*.
- Ozcan, B., Tzeremes, P. G., & Tzeremes, N. G. (2020). Energy consumption, economic growth and environmental degradation in OECD countries. *Economic Modelling, 84*, 203–213.
- Pandey, K. K., y Rastogi, H. (2019). Effect of energy consumption & economic growth on environmental degradation in India: A time series modelling. *Energy Procedia, 158*, 4232–4237.
- Pape, E., y Ixcot, L. (1998). Economía ambiental y desarrollo sostenible: Valoración económica del lago de Amatitlán. *Flacso Guatemala, 13*.

- Parra, M. (2016). “La Curva de Kuznets Ambiental para los países de la OCDE a través de un modelo de datos panel.” Universidad Veracruzana.
- Pérez, E. (2013). Desarrollo y medio ambiente. Algunas miradas desde las ciencias sociales. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 51(205), 141–161.
- Pigou, A. (1920). The economics of welfare. *University of Cambridge*, 1–983.
- Pinzón, D., y González, C. (2018). Curva De Kuznets Ambiental: Evidencia Empírica para Colombia 1971-2014. *Universidad Católica de Colombia*, 1–35.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2016). *Annual Report: Empowering People to Protect the Planet. December 2016*, 20.
- Pucachaqui, M. (2019). Análisis del efecto sobre el crecimiento económico del incremento de la producción de energía renovable en el Ecuador para el periodo 1970-2016.
- Puig, I., Martínez, A., Vicuña, Z., Córdova, G., y Álvarez, P. (2018). Subsidios a los combustibles fósiles en Ecuador: diagnóstico y opciones para su progresiva reducción. *Revista de La Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 28(1), 0087–0106.
- Quiroga, R. (2012). *Naturaleza, culturas y necesidades humanas. Ensayos de Transformación*.
- Ramírez, V., y Antero, J. (2014). Evolución de las Teorías de Explotación de Recursos Naturales: Hacia la Creación de una nueva Ética Mundial. *Luna Azul*, 39, 291–313.
- Rehman, M. U., y Rashid, M. (2017). Energy consumption to environmental degradation, the growth appetite in SAARC nations. *Renewable Energy*, 111, 284–294.
- Rentería, V., Toledo, E., Bravo, D., & Ochoa, D. (2016). Relación entre Emisiones Contaminantes , Crecimiento Económico y Consumo de Energía . El caso de Ecuador 1971-2010 Relationship between Pollutant Emissions , Economic Growth and Energy Consumption . The case of Ecuador 1971-2010. *Revista Politécnica*, 38(1).
- Saboori, B., y Sulaiman, J. (2013). Environmental degradation, economic growth and energy consumption: Evidence of the environmental Kuznets curve in Malaysia. *Energy*

- Policy*, 60, 892–905.
- Saint Akadiri, S., Alola, A. A., Akadiri, A. C., y Alola, U. V. (2019). Renewable energy consumption in EU-28 countries: Policy toward pollution mitigation and economic sustainability. *Energy Policy*, 132(February), 803–810.
- Sánchez, L., y Caballero, K. (2019). La curva de Kuznets ambiental y su relación con el cambio climático en América Latina y el Caribe: un análisis de cointegración con panel, 1980-2015. *Revista de Economía Del Rosario*, 22(1), 41.
- Saravia, A. (2005). Evidencias de la relación medio ambiente-economía en el caso latinoamericano. *CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales 2005*, 259–280.
- Sarkodie, S. (2021). Environmental performance , biocapacity, carbon y ecological footprint of nations: Drivers, trends and mitigation options. *Science of the Total Environment*, 751, 141912.
- Sarkodie, S. A., Adams, S., Owusu, P. A., Leirvik, T., y Ozturk, I. (2020). Mitigating degradation and emissions in China: The role of environmental sustainability, human capital and renewable energy. *Science of the Total Environment*, 719, 137530.
- Secretaria Nacional de Planificacion y Desarrollo [SENPLADES]. (2013). Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural.
- Sharif, A., Raza, S. A., Ozturk, I., y Afshan, S. (2019). The dynamic relationship of renewable and nonrenewable energy consumption with carbon emission: A global study with the application of heterogeneous panel estimations. *Renewable Energy*, 133, 685–691.
- Shirwani, R., Gulzar, S., Asim, M., Umair, M., y Al-Rashid, M. A. (2020). Control of vehicular emission using innovative energy solutions comprising of hydrogen for transportation sector in Pakistan: A case study of Lahore City. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(32), 16287–16297.

- Sinha, A., Shahbaz, M., y Balsalobre, D. (2017). Exploring the relationship between energy usage segregation and environmental degradation in N-11 countries. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1217–1229.
- Solíz, M., Durango, J., Solano, J., y Yépez, M. (2020). *Cartografía de los residuos sólidos en Ecuador 2020*.
- Tetreault, D. (2008). Em torno al medio ambiente: una revision de cuatro debates. *Espiral, Estudios Sobre Estado y Sociedad*, XIV(42), 41–72.
- Ulucak, R., Danish, y Ozcan, B. (2020). Relationship between energy consumption and environmental sustainability in OECD countries: The role of natural resources rents. *Resources Policy*, 69(March), 101803.
- Uquillas, A., y Gonzalez, C. (2017). Modelo Macro para Pruebas de Tension de Riesgo de Credito de Consumo en el Sistema Financiero Ecuatoriano. *Revista de Analisis Estadistico “AnalitiKa,”* 14.
- Viladrich, M. (2004). Las principales aportaciones a la teoría de la regulación medioambiental. Los últimos cuarenta años. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 4(8), 41–62.
- Wackernagel, M., y Rees, W. (1996). Our Ecological Footprint: reducing human impact on the earth. *Isla de Gabriola, Canadá: New Society Publishers.*, 1(7).
- Wang, J., & Dong, K. (2019). What drives environmental degradation? Evidence from 14 Sub-Saharan African countries. *Science of the Total Environment*, 656, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.354>
- Waqih, M. A. U., Bhutto, N. A., Ghumro, N. H., Kumar, S., y Salam, M. A. (2019). Rising environmental degradation and impact of foreign direct investment: An empirical evidence from SAARC region. *Journal of Environmental Management*, 243(May), 472–480.
- Our World in Data. (2019). Ecuador, perfil de pais de CO2: Emisiones de Gases de Efecto

Inveradero (GEI). <https://ourworldindata.org/co2/country/ecuador>

Yue, S., Shen, Y., y Yuan, J. (2019). Sustainable total factor productivity growth for 55 states:

An application of the new malmquist index considering ecological footprint and human development index. *Resources, Conservation & Recycling*, 146(December 2018), 475–483.

Žebryte, I., y Villegas, L. (2016). La teoría del refugio de contaminación: Efectos de la inversión extranjera directa a escala local en Chile. *Juridicas*, 13(1), 24–40.

ANEXOS

Anexo 1

Perfil del Proyecto de Tesis

a. TEMA

“Relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador: un análisis de cointegración con series de tiempo, periodo 1970-2015”.

b. INTRODUCCIÓN

En un estudio realizado por la Organización de Naciones Unidas [ONU], (2020) señala que alrededor de siete millones de personas mueren por la exposición a partículas de aire contaminado, causó alrededor de 4,2 millones muertes en 2016, mientras que los gases expulsados por las cocinas caseras que utilizan carbón u otros combustibles fósiles provocaron 3,8 millones. Más del 90% de las muertes relacionadas con la mala calidad del aire ocurre en países de ingresos bajos y medios en regiones como el Mediterráneo oriental, Europa y las Américas.

Según datos del informe de Revisión Estadística de BP de la energía mundial (2019), una de las causas principales del calentamiento global relacionadas con la actividad humana es la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera, entre los que destaca por su efecto nocivo el dióxido de carbono. China, Estado en el que residen más de 1.400 millones de personas (alrededor del 18,5% de la población mundial) fue responsable el año pasado del 28,1% de estas emanaciones con 9.528 millones de toneladas, mientras que Estados Unidos, contaminó el aire con 5.145 millones de toneladas, un 15,2% del total.

Según, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAE], (2016) en Ecuador, precisamente en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se registró los

niveles más altos de contaminación de PM_{2,5} (33ug/m³). La urbe es el sitio de tránsito entre la Sierra y la Costa. Cientos de camiones, buses y tráileres circulan por la ciudad dejando un rastro de hollín negro que se impregna en las paredes de las casas y de los locales comerciales, los automóviles son la fuente principal de polución. El parque automotor del cantón está conformado por más de 71.600 vehículos. En el 2013, de acuerdo a los análisis de la OMS, Santo Domingo, Milagro, Quito, Latacunga, Manta y Portoviejo sobrepasan los niveles internacionales de contaminación perjudiciales para la salud. Ibarra, Cuenca y Ambato son las ciudades menos polutas con 9 ug/m³ de PM_{2,5}. Por otro lado, solo Quito, Santo Domingo y Milagro son las urbes que superan los límites de contaminación nacionales.

En este contexto, el objetivo de esta investigación es examinar la relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador, utilizando datos de los Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI) periodo 1970-2015. La hipótesis planteada es que los niveles de contaminación ambiental aumentan como resultado de un mayor consumo de energía no renovable, para ello se utilizó un modelo econométrico con series de tiempo, donde la variable dependiente es el índice de contaminación obtenido a partir de tres medidas de contaminación: el metano, las emisiones de dióxido de nitroso y el dióxido de carbono, que captura de forma más integral la contaminación del aire; como variable independiente el consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total); variables de control como la Formación bruta de capital fijo (US\$ a precios constantes de 2010), población urbana (% del total), PIB (US\$ a precios constantes de 2010) y como variable dummy la política de eficiencia energética. Se aplicará un modelo de vectores autorregresivo (VAR) y de Corrección de error (VEC) para verificar la existencia de una relación a largo y corto plazo entre las variables de estudio y la causalidad con la prueba de Granger.

El principal aporte de la presente investigación es analizar el efecto esperado que tuvo la implementación de la política de eficiencia energética sector residencial en el modelo básico. La sustitución de focos incandescentes por ahorradores en viviendas fue la iniciativa pionera de eficiencia energética ejecutada por el Gobierno Nacional, con el fin disminuir la demanda de potencia y energía del Sistema Eléctrico Nacional en horas pico. El proyecto inició en el 2008 con la sustitución de 6 millones de focos ahorradores (Primera Fase), destinada al sector residencial con consumos menores a 150 kWh/mes, en el 2010 se continuó con la sustitución de 10 millones de focos ahorradores (Segunda Fase) destinada a otros sectores como salud, educación y servicio social y usuarios residenciales con consumos de hasta 200 kWh/mes. Como parte de la ejecución de la Primera Fase, se suscribió un “Contrato de Compra Venta de Reducción de Emisiones” con el Deutsche Bank AG London el 09 de junio de 2010, que luego del proceso de validación por parte de la Convención de Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC) el proyecto fue registrado el 22 de enero de 2011 como proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Como medida prioritaria que aporta a la reducción de los niveles de consumo de energía eléctrica y fomento para el ahorro energético con beneficios a corto plazo y protección del medio ambiente, para que exista una disminución de 450.000 ton CO₂/año (MEER, 2020).

c. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento de la contaminación ambiental se debe principalmente a la concentración de los gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que se producen por acción antropogénica, particularmente el dióxido de carbono (CO₂), su causa fundamental son las fuentes fósiles (carbón, gas y petróleo) de la matriz energética sobre la cual se ha edificado la civilización industrial. Los países desarrollados como los EE. UU, Rusia, Europa y la OECD en general, son los mayores consumidores de energía per cápita y, por tanto, los mayores

emisores de CO₂ a la atmósfera. Pero países que están en un rápido desarrollo, como China, Brasil y la India, los están alcanzando. Además, los países latinoamericanos también muestran una tendencia al aumento de sus emisiones León (2017).

Según autores como Águila et al. (2011); mencionan que la producción de energía y el estado del medio ambiente están íntima e indisolublemente relacionados, en el sentido que, el ser humano recurre a la naturaleza en busca de fuentes de energía a fin de aumentar su capacidad de uso del espacio natural, siempre en busca de recursos para su subsistencia. Afirman que ninguna civilización ha sido ecológicamente inocente. Por lo tanto, no se puede establecer ni mantener desarrollo sostenido y sostenible sin un consumo de energía suficiente y eficiente.

En una investigación realizada por Zolezzi (2011), indica que para el 2030, se espera que la economía mundial se duplique y que la población del mundo aumente, pasando de los actuales 6.500 millones a 8.200 millones de habitantes, provocando así, que la demanda de energía también aumente hasta casi duplicarse en el 2030. Ha estimado que solo la electricidad en consumo total de energía aumentará de 18% el año 2000 a 22% el 2030. Por lo tanto, toda esta situación lo lleva a proyectar que las emisiones mundiales de GEI, aumentarán en un 37% hacia el año 2030, y un 52% en el 2050, respecto del año 2008.

Por lo tanto, no existe una teoría que pueda enlazar estas dos variables, pero si existe evidencia empírica que nos podría ayudar sustentar la siguiente hipótesis planteada:

Los niveles de contaminación ambiental aumentan como resultado de un mayor consumo de energía no renovable

Contaminación ambiental = f(consumo de energía no renovable)

El ciclo completo de la energía es una de las principales fuentes de emisiones de gases causantes de efecto invernadero. Por lo tanto, el desafío mundial al cual nos enfrentamos es

suministrar la creciente demanda de energía controlando las emisiones de estos gases, particularmente el dióxido de carbono (CO₂).

d. ALCANCE DEL PROBLEMA

El tema de investigación se efectuará particularmente para el caso de Ecuador, está determinada de forma temporal, ya que implica desde el periodo de 1970 al 2015, además se utilizará técnicas econométricas de series de tiempo, con la finalidad de estimar el vínculo entre la calidad ambiental y consumo de energía no renovable en Ecuador e implementación de políticas de eficiencia energética, aplicando técnicas de cointegración de series de tiempo para verificar la relación en el corto y largo plazo de las variables, seguidamente, examinar si existe una relación causal entre las mismas. Se utilizará datos estadísticos proporcionados por el Banco Mundial para la estimación del modelo. Cabe mencionar que sería muy importante poder trabajar a nivel provincial, pero la información estadística proporcionada por el INEC no es muy amplia en cuanto al consumo de energía y emisiones de CO₂ para cada una de las provincias.

e. EVALUACIÓN DEL PROBLEMA

Costos económicos:

- Según el Banco Mundial (2016), la contaminación atmosférica se ha transformado en la forma de contaminación más letal y el cuarto factor principal de riesgo de fallecimientos prematuros en todo el mundo. Según un estudio realizado, estos fallecimientos le costaron a la economía mundial aproximadamente USD 225 mil millones en pérdida de ingresos laborales en 2013, lo que denota la carga económica de la contaminación atmosférica.

- Según este estudio, las pérdidas anuales de ingresos laborales cuestan el equivalente de casi el 1% (0,83%) del producto interno bruto (PIB) en Asia meridional. En Asia oriental y el Pacífico, donde la población está envejeciendo, las pérdidas de ingresos laborales representan el 0,25 % del PIB; mientras que, en África al sur del Sahara, donde la contaminación del aire perjudica el potencial de obtención de ingresos de las poblaciones más jóvenes, las pérdidas anuales de ingresos laborales representan el equivalente del 0,61 % del PIB.
- Según la OCDE es común asignarle al impacto de esta contaminación un valor económico. Se calcula que en 2060 los perjuicios sanitarios de la mala calidad del aire podrían provocar la pérdida de 3.750 millones de días de trabajo por año. El impacto directo sobre los mercados en cuanto a caída de la productividad de los trabajadores, aumento del gasto sanitario y menor rendimiento de los cultivos puede superar el 1% del PIB mundial (o 2,6 billones de dólares al año) en 2060.

Costos sociales:

- Según un estudio realizado en conjunto por el Banco Mundial y el Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME, Instituto de Mediciones y Evaluaciones de Salud), en 2013 se perdieron aproximadamente 5,5 millones de vidas a causa de las enfermedades asociadas con la contaminación del aire exterior o de las viviendas, lo que provocó sufrimiento humano y redujo el desarrollo económico.
- Según el Banco Mundial (2013), los fallecimientos relacionados con la contaminación del aire ambiental han aumentado en las regiones más densamente pobladas y de rápida urbanización, las enfermedades atribuidas a este tipo de contaminación del aire causaron uno de cada 10 fallecimientos en 2013 o un número seis veces superior a los fallecimientos causados por la malaria.

- Según la OCDE, en 2060 la contaminación aérea externa causará entre seis y nueve millones de muertes prematuras al año, contra tres millones en 2010. Esto equivale a la muerte de una persona cada 4 o 5 segundos. En total, más de 200 millones de personas morirán prematuramente en los próximos 45 años debido a la contaminación del aire.
- Se prevé que la cantidad de casos nuevos de bronquitis en niños de entre 6 y 12 años aumentará a 36 millones por año en 2060, desde los 12 millones de casos actuales. Para los adultos, la predicción es 10 millones de casos nuevos por año en 2060, contra 3,5 millones hoy.

f. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cómo ha venido evolucionando la contaminación ambiental en relación con el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015?
2. ¿Cuál es la dinámica de corto y largo plazo entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015?
3. ¿Cuál es la relación de causalidad entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015?

g. JUSTIFICACIÓN

1. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

El presente estudio investigativo pretende analizar la relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador: un análisis de cointegración con series de tiempo, periodo 1970-2015. Como estudiante de la carrera de Economía de la Universidad Nacional de Loja, el presente estudio servirá para generar un aporte investigativo en la línea de investigación de “Agregados macroeconómicos y sector externo”, con lo cual se generará nueva evidencia empírica,

reforzando todos los conocimientos aprendidos a lo largo de la vida universitaria. Siendo, también, un requisito obligatorio y requerido por la Universidad Nacional de Loja previo a la obtención del grado de Economista.

2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

La investigación analiza la relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador, para poder elaborar implicaciones de política económica que ayuden a mitigar el problema que implica un mayor aumento de emisiones de CO₂ al medio ambiente, como podemos darnos cuenta ningún país está dispuesto a disminuir conscientemente su actual estándar de vida o retrotraerlo a estándares de décadas pasadas con el propósito de atenuar la emisión global de CO₂ a la atmósfera. Si no se toma medidas pertinentes a tiempo para controlar este problema, el costo de reducción de emisiones de CO₂ será cada vez más alto en el futuro. Por este motivo, se necesita políticas con visión de futuro, por difíciles que sean, para evitar los costos a largo plazo. Es importante recalcar que las políticas que se dediquen a la mitigación del efecto invernadero deben partir por asegurar el uso eficiente de los recursos, así como priorizar las acciones en los sectores claves que inciden en el calentamiento global, como es el área de la generación de energía, el transporte, la industria y la actividad forestal. Igualmente, se debe fortalecer la cooperación ambiental internacional.

3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

En muchos casos los daños ambientales, no pueden ser medidos como parte del PIB, pero afectan el bienestar social, como puede ser el empeoramiento de la salud humana con las consecuentes pérdidas en la productividad laboral. Está relacionado con las afectaciones a la sociedad que se manifiestan en la pérdida de beneficios derivados del recurso natural afectado. Dentro de esta línea de investigación, se puede exteriorizar la validez de un estudio que permite

profundizar y ratificar la comprensión del efecto de la política de eficiencia energética sector residencial. El 18 de enero de 2008, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), suscribe el contrato para la adquisición de 6 millones de focos ahorradores como medida prioritaria que aporta a la reducción de los niveles de consumo de energía eléctrica y fomento para el ahorro energético con beneficios a corto plazo y protección del medio ambiente, dando como resultado una disminución de 450.000 ton CO₂/año. Esta política permite a los clientes ahorrar en el servicio de energía eléctrica, provocando así un menor consumo del mismo el cual da como resultado una reducción de los niveles de emisión de CO₂ en la atmósfera y por ende una disminución en la contaminación ambiental.

h. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Examinar la relación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable e implementación de políticas de eficiencia energética en Ecuador, mediante un estudio econométrico, con el propósito de analizar la dinámica de corto y largo plazo entre las variables durante el periodo 1970-2015.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Analizar la evolución y correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015.
- 2) Estimar la dinámica de corto y largo plazo entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015.
- 3) Determinar la relación de causalidad entre la contaminación ambiental y el consumo de energía no renovable en el Ecuador, periodo 1970-2015.

i. MARCO TEÓRICO

1. ANTECEDENTES

La tierra constituye la base principal para el sustento y el bienestar humano, incluidos el suministro de alimentos, agua dulce y muchos otros servicios ecosistémicos, así como para la biodiversidad. El uso humano afecta directamente a más del 70% de la superficie terrestre global libre de hielo IPCC, (2019).

Según, la ONU (2017); la contaminación tiene muchas causas, tales como, los procesos industriales; el diseño de los productos y sus envases; los gustos y hábitos de los consumidores; la falta de reglamentación o su aplicación deficiente; y el desconocimiento de los efectos de la contaminación en la salud humana y los ecosistemas.

De acuerdo al estudio realizado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), las concentraciones globales en la atmósfera de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han aumentado como resultado de las actividades humanas desde 1750, y exceden, con mucho, los valores preindustriales determinados por testigos de hielo que abarcan varios miles de años Ulloa, (2015).

El aumento acelerado de la temperatura media del planeta, se debe a la concentración de los gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que se producen por acción antropogénica, particularmente el dióxido de carbono (CO₂). Su causa fundamental son las fuentes fósiles (carbón, gas y petróleo) de la matriz energética sobre la cual se ha edificado la Civilización Industrial. Sin embargo, este uso intensivo y extensivo de las fuentes fósiles para la producción de energía fue el que permitió que un sector minoritario de la humanidad, que denominamos Primer Mundo, haya alcanzado un altísimo nivel de vida para su población. Vale decir, el alto nivel de riqueza y desarrollo del Primer Mundo tiene directa relación con el

“calentamiento global”. Ellos son los mayores consumidores de energía per cápita y, por tanto, los mayores emisores de CO₂ a la atmósfera Águila et al., (2011).

En la actualidad cerca del 50% del recalentamiento global se atribuye a la emisión artificial de dióxido de carbono (CO₂) y su fuente principal es el quemado de combustibles fósiles, razón por la cual se considera necesario reestructurar el sistema de energía de modo que se reduzcan los niveles de emisión de CO₂ León, (2017). También, es necesario considerar puntos de vista ambientales, económicos, energéticos, etc., y buscar otras fuentes alternativas de energías que sean limpias e ilimitadas Ulloa, (2015).

En una investigación realizada por Águila et al., (2011), nos dice que la producción de energía y el estado del medio ambiente están íntima e indisolublemente relacionados, dado que cualquier sociedad humana es un fenómeno que ocurre en el espacio y en el tiempo, y la característica espacial hace referencia a la dependencia que tiene ésta del medio natural o geográfico para la posibilidad de su existencia y evolución. En este sentido, el ser humano recurre a la naturaleza en busca de fuentes de energía a fin de aumentar su capacidad de uso del espacio natural, siempre en busca de recursos para su subsistencia. Por este motivo, se afirma que “ninguna civilización ha sido ecológicamente inocente”.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Existen varios estudios que investigan sobre la sostenibilidad ambiental; Saint et al. (2019) en su investigación manifiestan que el gran desafío al que se enfrentan los seres humanos en el siglo XXI, es cómo lograr un equilibrio entre la mitigación de la degradación ambiental y el logro de un crecimiento económico sostenible. Su estudio estuvo dirigido a un grupo de países pertenecientes a la Unión Europea (EU-28), considerando que para que haya una mejora de la calidad ambiental se debe aumentar el uso de energías renovables desalentando así, el uso del consumo de combustibles fósiles y, por lo tanto, mitigaría las

emisiones de carbono, expresan que esta medida también debería ser adoptada por todos los países como una política global eficaz.

Para hacer frente a la contaminación ambiental se ha establecido un marco básico para la cooperación global, la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), la Agenda 2030, los Protocolos de Kyoto (1997) y los Acuerdos de Copenhague (2009) son deterministas para abordar el problema del rápido crecimiento económico que representa una seria amenaza para la humanidad, en forma de agotamiento de recursos, contaminación y cambio climático; Mahjabeen et al., (2020) en su investigación expresan que en todo el mundo, la fuente de energía dominante son los combustibles fósiles, también llamados fuentes de energía convencionales; por lo tanto, una transición hacia una energía más limpia es el desafío final para las economías, para garantizar la seguridad energética, reducir la degradación ambiental y estimular el crecimiento económico.

En su investigación Chanda y Bose, (2020) analizan brevemente los diferentes desafíos y aspectos de las energías renovables junto con la reducción de los efectos de los gases de efecto invernadero y huella de carbono, que recae en gran medida en el mundo industrializado, aunque es probable que los países en desarrollo sean la fuente de una proporción cada vez mayor de emisiones futuras, analizan que la temperatura media mundial puede aumentar entre 1,4 y 5,8°C para 2100. Manifiestan que el desarrollo económico ha sido resultado de un aumento en la tasa de consumo de fuentes de energía no renovables, en el cual la mayoría ellas emiten gases de efecto invernadero de manera incontrolable, lo que contribuye a una huella de carbono significativamente alta, provocando así, el calentamiento global y la contaminación ambiental de manera drástica. Expresan que la forma más eficaz es adoptar una vía de desarrollo sostenible cambiando de tecnologías ambientalmente sostenibles a tecnologías renovables.

Según, Climate Resilience Handbook (2018) manifestó que el 2017 fue un año récord de desastres naturales, incluidos huracanes, incendios forestales, olas de calor y sequías que provocaron pérdidas de 31 mil millones de dólares a nivel mundial, producto de la degradación ambiental.

Como es de conocimiento la fluctuación de los precios de la energía de los combustibles fósiles y la creciente presión ambiental que el mundo está experimentando representan un dilema importante para la vida de las personas de bajos recursos en los países en desarrollo. Por lo tanto, Al-Mulali et al. (2016) en su investigación, animan a muchos países a implementar estrategias para reducir su dependencia de los combustibles fósiles y disminuir la presión ambiental. Incrementar el papel de las fuentes de energía renovable es una estrategia fundamental para disminuir la degradación ambiental. Estas fuentes de energía pueden ser una solución clave para aumentar la seguridad energética al reducir la dependencia de los países del consumo de combustibles fósiles; por lo que, representan una fuente de energía limpia.

En su artículo Friman (2017); expresa que el consumo mundial de energía depende en gran medida del carbón, el petróleo y el gas natural. Los combustibles fósiles no son renovables, es decir, dependen de recursos finitos que eventualmente disminuirán, volviéndose demasiado dañinos para el medio ambiente. En el campo de la Energía se está prosperando debido a varios factores: la crisis energética mundial, las tendencias políticas que generan un aumento en los precios del petróleo y otros temas ambientales.

En un estudio realizado por Wang y Dong (2019) a un grupo de países de África subsahariana, donde el crecimiento económico es notablemente creciente y el proceso acelerado de urbanización han dado lugar a un aumento de las necesidades energéticas y, por lo tanto, conducen a una mayor degradación ambiental. En sus resultados, nos indican que, el desarrollo económico es uno de los factores que causan contaminación ambiental, pero no es muy significativo, ya que la economía no es muy intensa en energía, debido a que su principal

actividad es la agricultura, también esa región está dotada de un gran potencial de energías renovables como la bioenergía, solar, eólica, solar, hidroeléctrica y geotérmica.

La literatura en cuanto a temáticas ambientales expone con razones y fundamentos de que las emisiones de CO₂ causan graves problemas al medio ambiente. Según, Shah et al., (2020) explican que el carbón aporta entre el 30% y el 40% de las emisiones mundiales de carbono y la producción de electricidad para los segmentos residencial y terciario. La creciente demanda de bienes y servicios también está contribuyendo al aumento de las emisiones. La tendencia al alza de la contaminación ambiental en los años actuales ha elevado la demanda de energía limpia para reducir el estrés ambiental, y la fuente de energía de biomasa recientemente desarrollada está contribuyendo bien en este sentido, el consumo de energía de biomasa se está desempeñando como el principal motor del desarrollo económico y fuente de energía limpia para disminuir los niveles de contaminación.

j. DATOS Y METODOLOGÍA

1. DATOS

En el presente estudio se empleará datos recopilados de los Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI, 2020), correspondientes al período 1970-2015 para el caso de Ecuador. La estimación del modelo se realizará mediante la técnica econométrica de series de tiempo, para ellos hemos considerado como variable dependiente un índice de contaminación obtenido a partir de tres medidas la contaminación ambiental: el metano, las emisiones de dióxido de nitroso y el dióxido de carbono. La ventaja de la utilización de este índice es que captura de forma más integral la contaminación del aire. La Tabla 1 muestra la descripción de las variables y su definición utilizada en la investigación.

Tabla 1*Descripción de las Variables*

Variable	Abreviación	Descripción	Escala
<i>Dependiente</i>			
Índice de Contaminación	ip	CH4 Emisiones de metano de desechos sólidos, ganado, minería de carbón duro y lignito, arrozales, agricultura y fugas de tuberías de gas natural.	Promedio
		NO2 Las emisiones de óxido nitroso son generadas por la quema de biomasa en la agricultura, las actividades industriales y la cría de animales.	
		CO2 Las emisiones de dióxido de carbono se generan de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas.	
<i>Independiente</i>			
Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total)	cee	El combustible fósil comprende los productos de carbón, aceite, petróleo y gas natural.	Logaritmo
<i>Control</i>			
Formación bruta de capital fijo (US\$ a precios constantes de 2010)	fbk	La formación bruta de capital fijo incluye los mejoramientos de terrenos; las adquisiciones de planta, maquinaria y equipo, y la construcción de carreteras, ferrocarriles y obras afines, incluidas los edificios comerciales e industriales.	Logaritmo
Población urbana (% del total)	urb	Se refiere a las personas que viven en áreas urbanas según lo definido por las oficinas nacionales de estadística.	Logaritmo
PIB (US\$ a precios constantes de 2010)	Y	Es la suma del valor agregado bruto de todos los productores residentes en la economía más todo impuesto a los productos, menos todo subsidio no incluido en el valor de los productos.	Logaritmo
<i>Dummy</i>			
Política	pol	Captura el cambio de los niveles de contaminación en el ambiente, desde el 2008, año que entró en vigencia la política de eficiencia energética mediante la implementación de focos ahorradores a nivel nacional en todos los hogares ecuatorianos y en el año 2010 la segunda fase de implementación.	1 para años en que se aplicó la política y 0 para los cuales no se implementó.

Elaboración propia de los autores

2. METODOLOGÍA

En una primera etapa estimaremos un modelo básico de regresión con datos de series de tiempo que permita estimar la relación entre la contaminación ambiental y el consumo de energía renovable e implantación de políticas de eficiencia energética en Ecuador. Para su efecto se plantea la siguiente ecuación del modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) de la siguiente manera:

$$ip_t = \beta_0 + \beta_1 lcee_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

En donde en la ecuación (1), ip_t simboliza el índice de contaminación en el periodo (t), β_0 es el intercepto en el tiempo, $\beta_1 lcee_t$ mide el efecto del consumo de energía no renovable sobre la contaminación ambiental y finalmente ε_{it} es el término de error.

A continuación, se introduce a la ecuación (1) tres variables de control: formación bruta de capital fijo, población urbana y PIB (US\$ a precios constantes de 2010) y la variable dummy que captura el cambio de los niveles de contaminación en el ambiente, para conocer si la política de eficiencia energética implementada en el 2008 tuvo un impacto en la disminución de la contaminación ambiental. Todas estas variables regresoras tienen una alta capacidad explicativa sobre la variable dependiente, tal como se especifica en la ecuación:

$$ip_t = \beta_0 + \beta_1 lcee_{it} + \beta_2 lfbk_{it} + \beta_3 lurbit + \beta_4 lny_{it} + dummy_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

En donde en la ecuación (2), ip_t representa el índice de contaminación en el periodo (t), β_0 es el intercepto en el tiempo, $\beta_1 lcee_t$ mide el efecto del consumo de energía no renovable sobre la contaminación ambiental, $lfbk_{it}$ representa el logaritmo de la Formación Bruta de Capital, y $lnurb_t$ es la población urbana y lny_t representa el PIB, $dummy_{it}$ representa la política de eficiencia energética y finalmente ε_{it} es el término de error.

En el modelo de MCO se requiere, que la varianza de las perturbaciones aleatorias, condicionalmente a los valores de los regresores X , sea constante. Se empleará el contraste de Breush-Pagan-Godfrey con la finalidad de verificar si existe problemas de heterocedasticidad, seguidamente, se utilizará el test de Durbin-Watson, para averiguar si existe el problema de autocorrelación en las variables del modelo.

También se analizará que las series no sean estacionarias para lo cual se empleará las pruebas de Dickey y Fuller (1979) y Philips y Perron (1988). Asimismo, para conocer la longitud del rezago se definirá por medio de los criterios de información: criterio de información de Akaike (1974) denominado (AIC), el criterio de información de Hannan y Quinn (HQIC), el criterio información bayesiana de Schwarz (SBIC) y el error de predicción final de Akaike (FPE). A continuación, se aplicará técnicas de cointegración de Johansen (1991), con la finalidad de establecer la relación de equilibrio a largo plazo entre las variables. Una vez que la existencia de cointegración de largo plazo es analizada, se obtiene el término de error de equilibrio ui , como sugiere Azlina y Mustapha (2012). Este vector se puede emplear para estimar un modelo de corrección de error (VEC) y así, demostrar la existencia de equilibrio de corto plazo (Engle y Granger, 1987). Además, se aplica el test de causalidad de Granger (1986) para verificar la existencia y dirección de causalidad de las variables. A continuación, se plantea las ecuaciones econométricas del modelo VAR:

$$\Delta ip_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_1 \Delta lcee_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_2 \Delta lfbk_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_3 \Delta lpu_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_4 \Delta ly_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_5 \Delta ip_{t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (3)$$

$$\Delta lcee_t = \alpha_6 + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_7 \Delta lfbk_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_8 \Delta lpu_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_9 \Delta ly_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{10} \Delta ip_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{11} \Delta lcee_{t-i} + \varepsilon_{2t} \quad (4)$$

$$\Delta lfbk_t = \alpha_{12} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{13} \Delta lpu_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{14} \Delta ly_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{15} \Delta ip_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{16} \Delta lcee_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{17} \Delta lfbk_{t-i} + \varepsilon_{3t} \quad (5)$$

$$\Delta lpu_t = \alpha_{18} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{19} \Delta ly_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{20} \Delta ip_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{21} \Delta lcee_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{22} \Delta lfbk_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{23} \Delta lpu_{t-i} + \varepsilon_{4t} \quad (6)$$

$$\Delta ly_t = \alpha_{24} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{25} \Delta ip_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{26} \Delta lcee_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{27} \Delta lfbk_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{28} \Delta lpu_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{29} \Delta ly_{t-i} + \varepsilon_{5t} \quad (7)$$

Una vez, planteado el modelo VAR en las ecuaciones (3), (4), (5), (6) y (7) a través del test de cointegración de Johansen (1991) se establece si existe una relación a largo plazo ente las variables incluidas en el modelo. Seguidamente, se planteó el modelo de corrección de error (VEC) con el fin de comprobar una relación a corto plazo agregando el error rezagado.

$$\Delta ip_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_1 \Delta lcee_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_2 \Delta lfbk_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_3 \Delta lpu_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_4 \Delta ly_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_5 \Delta ip_{t-i} + \alpha_6 \Delta \varepsilon_{t-i} + \lambda_{1t} \quad (8)$$

$$\Delta lcee_t = \alpha_7 + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_8 \Delta lfbk_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_9 \Delta lpu_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{10} \Delta ly_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{11} \Delta ip_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{12} \Delta lcee_{t-i} + \alpha_{13} \Delta \varepsilon_{t-i} + \lambda_{2t} \quad (9)$$

$$\Delta lfbk_t = \alpha_{14} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{15} \Delta lpu_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{16} \Delta ly_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{17} \Delta ip_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{18} \Delta lcee_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{19} \Delta lfbk_{t-i} + \alpha_{20} \Delta \varepsilon_{t-i} + \lambda_{3t} \quad (10)$$

$$\Delta lpu_t = \alpha_{21} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{22} \Delta ly_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{23} \Delta ip_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{24} \Delta lcee_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{25} \Delta lfbk_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{26} \Delta lpu_{t-i} + \alpha_{27} \Delta \varepsilon_{t-i} + \lambda_{4t} \quad (11)$$

$$\Delta ly_t = \alpha_{28} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{29} \Delta ip_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{30} \Delta lcee_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{31} \Delta lfbk_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{32} \Delta lpu_{t-i} + \sum_{i=1}^{J=N} \alpha_{33} \Delta ly_{t-i} + \alpha_{34} \Delta \varepsilon_{t-i} + \lambda_{5t} \quad (12)$$

k. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera obtener una relación directa entre consumo de energía no renovable y la contaminación ambiental, entendiéndose que a mayor consumo de energía no renovable aumenta la contaminación ambiental. Esto puede explicarse que el aumento de la contaminación

ambiental se debe principalmente a la concentración de los gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que se producen por acción antropogénica, particularmente el dióxido de carbono (CO₂), su causa fundamental son las fuentes fósiles (carbón, gas y petróleo) de la matriz energética sobre la cual se ha edificado la civilización industria León (2017). Según autores como Águila et al., (2011); mencionan que la producción de energía y el estado del medio ambiente están íntima e indisolublemente relacionados, en el sentido que, el ser humano recurre a la naturaleza en busca de fuentes de energía a fin de aumentar su capacidad de uso del espacio natural, siempre en busca de recursos para su subsistencia. Por lo tanto, no se puede establecer ni mantener desarrollo sostenido y sostenible sin un consumo de energía suficiente y eficiente.

Por otra parte, se espera que con la implementación de la política de eficiencia energética de la sustitución de focos incandescentes por ahorradores en viviendas ecuatorianas disminuyan la demanda de potencia y energía, ya que tiene como medida prioritaria la reducción de los niveles de consumo de energía eléctrica y fomento para el ahorro energético con beneficios a corto plazo y protección del medio ambiente, con el fin de disminuir a 450.000 ton CO₂/año.

I. CRONOGRAMA

Año	2020												2021							
Mes	Oct				Nov				Dic				Ene				Feb			
Actividades	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elaboración del proyecto	■	■	■																	
Corrección del proyecto				■	■															
Presentación y aprobación proyecto						■														
Revisión de Literatura							■	■												
Organización de datos oficiales									■											
Obtención de resultados									■											
Elaboración de Discusión, Conclusiones y Recomendaciones										■										
Resumen											■									
Presentación del borrador de tesis												■								
Revisión del informe escrito del borrador de tesis													■	■						
Corrección del informe escrito del borrador de tesis															■	■	■	■	■	■
Aprobación del informe escrito por parte del tribunal																				■

m. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águila, E., Sohr, R., Parker, C., & Zanelli, J. (2011). Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina: los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático. In *Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO*.
- Al-Mulali, U., Ozturk, I., & Solarin, S. A. (2016). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in seven regions: The role of renewable energy. *Ecological Indicators*, 67, 267–282.
- Chanda, C. K., & Bose, D. (2020). Challenges of Employing Renewable Energy for Reducing Greenhouse Gases (GHGs) and Carbon Footprint. In *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. Elsevier Ltd.
- Climate Resilience Handbook (2018). Recuperado de: <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/feb/climate-resilience-handbook.html>
- Friman, H. (2017). New Trends in the Higher Education: Renewable Energy at the Faculty of Electrical Engineering. *Energy Procedia*, 115, 18–28.
- IPCC (2019). El cambio climático y la tierra.
- León, Y. (2017). Algunos efectos de la energía en el medio ambiente. *Revista IN FACES, Universidad de Carabobo*. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/faces/revista/a2n5/2-5-1.pdf>
- Mahjabeen, Shah, S. Z. A., Chughtai, S., & Simonetti, B. (2020). Renewable energy, institutional stability, environment and economic growth nexus of D-8 countries. *Energy Strategy Reviews*, 29, 100484.
- Maldonado, J. (2009). Ciudades y contaminación ambiental. *Revista de Ingeniería*, unknown(30), 66–71.
- ONU. (2017). Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. *Hacia Un Planeta Sin Contaminación*, 9, 1–29.

- Ortiz, C. (2018). Relación entre la tasa de urbanización, consumo de energía no renovable y el PIB per cápita para 111 países del mundo: un enfoque de cointegración y causalidad con datos de panel, periodo 1971-2016. *Universidad Nacional De Loja, 1*, 100.
- Osorio, J., & Correa, F. (2004). Valoración económica de costos ambientales: marco conceptual y métodos de estimación. *Red De Revistas Cientificas De America Latina Y El Caribe, 7*, 159–193.
- Raffo, E., & Mayta, R. (2015). Valoración económica ambiental: el problema del costo social. *Revista de La Facultad de Ingenieria Industial, 18(2)*, 61.
- Saint Akadiri, S., Alola, A. A., Akadiri, A. C., & Alola, U. V. (2019). Renewable energy consumption in EU-28 countries: Policy toward pollution mitigation and economic sustainability. *Energy Policy, 132*(February), 803–810.
- Shah, S. A. R., Naqvi, S. A. A., Riaz, S., Anwar, S., & Abbas, N. (2020). Nexus of biomass energy, key determinants of economic development and environment: A fresh evidence from Asia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 133*(August), 110244.
- Ulloa, S. (2015). “Eficiencia del Consumo Eléctrico en el Sector Residencial Urbano de Cuenca.” Universidad de Cuenca.
- Valencia, R. (2015). Análisis de los métodos de focalización de subsidios en tarifas de electricidad en Ecuador. 1–126.
- Wang, J., & Dong, K. (2019). What drives environmental degradation? Evidence from 14 Sub-Saharan African countries. *Science of the Total Environment, 656*, 165–173.

Anexo 2

Pruebas de diagnóstico para el modelo econométrico

El modelo de regresión asume diversos supuestos estadísticos que determinan la validez de los resultados econométricos, así como la inferencia estadística.

Prueba para detectar problemas de multicolinealidad

Tabla 2

Prueba de factor de inflación de la varianza (FIV)

Variables	FIV	1/FIV
PIB per capita	16,53	0,0605
Consumo de energía no renovable	6,97	0,1435
Consumo de energía renovable	5,52	0,1812
Política	3,62	0,2765
Inversion Extranjera Directa	1,62	0,6189
Mean FIV	6,85	

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Como se puede observar en la Tabla 2, luego de emplear la prueba de FIV, los resultados arrojan una media de 6,85; lo cual nos confirma que se acepta la hipótesis nula de no multicolinealidad, debido a que el valor es inferior a 10, caso contrario de rechaza la hipótesis nula.

Prueba para detectar problemas de heteroscedasticidad

Tabla 3

Prueba de White

chi2(9)	=	24,31
Prob > chi2	=	0,1845

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Seguidamente, en la Tabla 3 se puede presenciar una Prob>chi2 de 0,1845; aceptar la hipótesis nula de no heteroscedasticidad, por lo tanto, se concluye que el modelo no presenta este problema y se asume que los errores del modelo presentan una varianza constante a lo largo de la muestra, si el presentara problemas de esta índole los estimadores de MCO pierden eficiencia.

Pruebas para detectar problemas de normalidad

Tabla 4

Prueba de Skewness / Kurtosis

Variable	Obs	Pr (Skewness)	Pr (Kurtosis)	adj chi2(2)	Prob>chi2
Error	46	0,0413	0,7024	4,40	0,1108

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

A continuación, se utilizó la prueba de Skewness-Kurtosis, el cual la Tabla 4, nos dio una Prob>chi2 de 0,1108; donde nos lleva a aceptar la hipótesis nula de normalidad, debido que la probabilidad es mayor a 0,005.

Tabla 5

Prueba de Shapiro - Wilk

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
Error	46	0,9340	2,908	2,266	0,0117

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Así mismo, en la Tabla 5, al emplear la prueba de Shapiro-Wilk se alcanzó una probabilidad del estadístico de 0,0117; la cual nos lleva a rechazar la hipótesis nula de normalidad. En comparación a las dos pruebas se toma en consideración la prueba de Skewness-Kurtosis por ser más confiable y se concluye que no existes problemas de normalidad y que el término de error se distribuye como una función de densidad de probabilidad normal con media cero y varianza constante.

Pruebas para detectar problemas de autocorrelación

Tabla 6

Prueba de Durbin

lags(p)	F	Df	Prob > F
1	52,717	(1, 39)	0,0000

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Po otro lado, en la Tabla 6 se verifica que la $Pro>F$ es de 0,0000; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de no autocorrelación y se concluye que, los términos de error no son estadísticamente independientes y existe relación entre los errores.

Tabla 7

Prueba de Breusch - Godfrey

lags(p)	F	Df	Prob > F
1	26,440	(1, 39)	0,0000

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Al igual, en la Tabla 7, al utilizar la prueba de Breusch-Godfrey, nos permite constatar que, si existe problemas de autocorrelación, por lo tanto, no se cumple el supuesto de que, la covarianza de los términos de error sea igual a cero.

Anexo 3

Problemas de raíz unitaria

De manera formal, cabe indicar que, la contaminación ambiental, el consumo de energía renovable y el PIB per cápita muestran problemas de estacionariedad, para ello se empleó dos pruebas: la de Dickey-Fuller y Phillips-Perron, a continuación, en la Tabla 8 se presentan los resultados.

Tabla 8

Pruebas de raíz unitaria

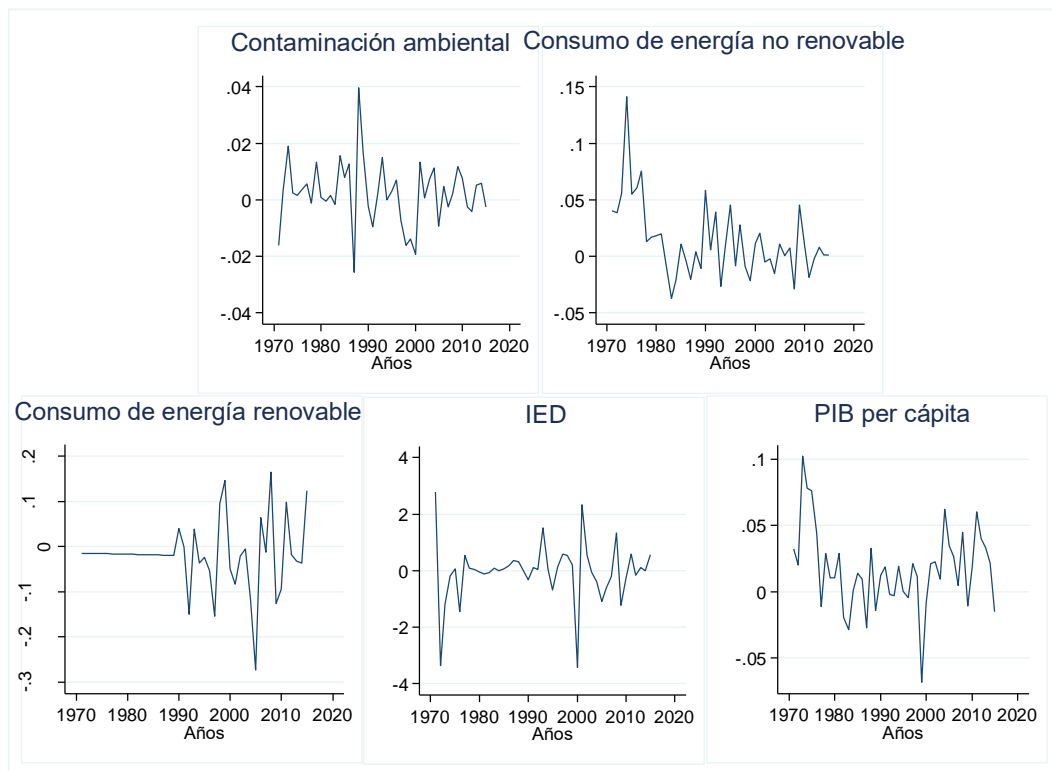
Variables	Prueba de Dickey y Fuller aumentada				Prueba de Phillips y Perron				I(q)
	Valor calculado	1%	5%	10%	Valor calculado	1%	5%	10%	
Contaminación ambiental	-1,449	-3,61	-2,94	-2,61	-2,376	-18,6	-13,1	-10,6	1
Consumo de energía no renovable	-5,271	-3,61	-2,94	-2,61	-6,128	-18,6	-13,1	-10,6	1
Consumo de energía renovable	-0,915	-3,61	-2,94	-2,61	-0,963	-18,6	-13,1	-10,6	1
Inversión extranjera directa	-3,532	-3,61	-2,94	-2,61	-15,75	-18,6	-13,1	-10,6	1
PIB per cápita	-1,807	-3,61	-2,94	-2,61	-2,808	-18,6	-13,1	-10,6	1

Nota. El nivel de significancia del 1% (*), 5% (***) y 10% (***), se encuentra representado por los asteriscos.

Una vez detectado este problema con las pruebas formales, mediante un análisis gráfico se constatará si el problema persiste, para ello se procederá a generar primeras diferencias, en donde, en la Figura 1, se observa que la contaminación ambiental, el consumo de energía no renovable, el consumo de energía renovable y el PIB per cápita ya no exhiben un comportamiento estacionario, es decir, que muestran su verdadero comportamiento en el tiempo.

Figura 1

Comportamiento de las variables con primeras diferencias para Ecuador, periodo 1970 - 2015



Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Anexo 4

Modelo Vectores Autorregresivos a largo plazo

Antes de la estimación del modelo VAR, se sugiere determinar la longitud de rezagos, como se puede observar en la Tabla 9, en base a los criterios de información de Akaike (AIC) y Hannan y Quinn (HQIC) y en las que aparece un asterisco, lo cual nos confirma que en el modelo se deben emplear 6 rezagos.

Tabla 9

Determinación del rezago óptimo

Lag	LL	LR	Df	P	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	299,385				1,3e-13	-15,494	-15,427	-15,279*
1	308,994	19,218	25	0,787	2,9e-13	-14,684	-14,224	-13,391
2	332,036	46,084	25	0,006	3,5e-13	-14,581	-13,738	-12,211
3	347,135	30,198	25	0,217	7,1e-13	-14,059	-12,833	-10,612
4	377,214	60,157	25	0,000	8,3e-13	-14,327	-12,717	-9,802
5	424,965	95,502	25	0,000	5,7e13*	-15,525	-13,531	-9,922
6	498,433	146,94*	25	0,000	2,6e-13	-18,075*	-15,699*	-11,396

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

A continuación, en la Tabla 10, se puede observar la regresión completa del modelo VAR.

Tabla 10

Modelo de Vectores Autorregresivos (VAR)

Sample:	1977-2015		Number of obs	=	39
Log likelihood	=	502,442	AIC	=	-17,8175
FPE	=	2,28e-13	HQIC	=	-15,4454
Det (Sigma_ml)	=	4,44e-18	SBIC	=	-11,2060

	Coef.	Std, Err	Z	P> z	[95% Conf, Interval]
dIP					
dIP					
L1,	-0,0568	0,1497	-0,38	0,704	-0,3502 0,2365
L2,	0,2631	0,1747	1,51	0,132	-0,07933 0,6056
L3,	-0,3626	0,2082	-1,74	0,082	-0,7707 0,0455
L4,	0,9108	0,2361	3,86	0,000	0,4481 1,3735
L5,	-0,5760	0,2082	-2,77	0,006	-0,9840 -0,1679

	L6,	0,0060	0,2559	0,02	0,981	-0,4955	0,5075
dlogNER	L1,	0,1624	0,0935	1,74	0,082	-0,0208	0,3456
	L2,	-0,3362	0,0952	-3,53	0,000	-0,5228	-0,1496
	L3,	0,1023	0,1056	0,97	0,333	-0,1047	0,3093
	L4,	-0,1099	0,1011	-1,09	0,277	-0,3081	0,0882
	L5,	0,0284	0,0715	0,40	0,692	-0,1118	0,1686
	L6,	-0,0208	0,0568	-0,37	0,714	-0,1321	0,0904
dlogER	L1,	0,0217	0,0332	0,66	0,512	-0,0432	0,0867
	L2,	-0,0539	0,0325	-1,66	0,098	-0,1176	0,0099
	L3,	0,0849	0,0275	3,08	0,002	0,0308	0,1388
	L4,	0,04315	0,0299	1,44	0,150	-0,0156	0,1019
	L5,	-0,01728	0,0339	-0,51	0,611	-0,0838	0,0492
	L6,	0,0837	0,0292	2,87	0,004	0,0264	0,1408
dIED	L1,	0,0007	0,0026	0,27	0,790	-0,0045	0,0059
	L2,	-0,0013	0,0029	-0,46	0,648	-0,0071	0,0044
	L3,	-0,0060	0,0030	-1,94	0,052	-0,0120	0,0001
	L4,	-0,0142	0,0038	-3,66	0,000	-0,0219	-0,0066
	L5,	0,0028	0,0033	0,85	0,394	-0,0037	0,0095
	L6,	-0,0052	0,0028	-1,85	0,065	-0,0109	0,0003
dlogYpc	L1,	0,0022	0,0994	0,02	0,982	-0,1926	0,1971
	L2,	-0,4059	0,0971	-4,18	0,000	-0,5963	-0,2155
	L3,	0,3008	0,0986	3,05	0,002	0,1074	0,4942
	L4,	-0,0436	0,1247	-0,35	0,726	-0,2881	0,2008
	L5,	0,0977	0,0875	1,12	0,264	-0,0739	0,2694
	L6,	-0,0994	0,0795	-1,25	0,211	-0,2553	0,0564
	_cons	0,0084	0,0022	3,67	0,000	0,0039	0,0128
dlogNER	dIP	0,8709	0,2106	4,13	0,000	0,4581	1,2838
	L1,	1,4829	0,2458	6,03	0,000	1,0010	1,9648
	L2,	-0,9504	0,2930	-3,24	0,001	-1,5247	-0,3762
	L3,	1,0069	0,3321	3,03	0,002	0,3558	1,6579
	L4,	-1,4590	0,2929	-4,98	0,000	-2,0332	-0,8847
	L5,	0,5103	0,3600	1,42	0,156	-0,1953	1,2160
	L6,	0,8709	0,2106	4,13	0,000	0,4581	1,2838
dlogNER	L1,	0,1564	0,1315	1,19	0,234	-0,1013	0,4142
	L2,	-0,3839	0,1339	-2,87	0,004	-0,6464	-0,1213
	L3,	1,0151	0,1486	6,83	0,000	0,7238	1,3064
	L4,	0,2692	0,1422	1,89	0,058	-0,0095	0,5480
	L5,	0,2874	0,1006	2,86	0,004	0,0901	0,4848
	L6,	-0,2735	0,0798	-3,42	0,001	-0,4300	-0,1169
dlogER	L1,	0,3078	0,0466	6,59	0,000	0,2163	0,3993
	L2,	0,0112	0,0457	0,24	0,807	-0,0785	0,1009
	L3,	0,1186	0,0387	3,06	0,002	0,0426	0,1945
	L4,	-0,1271	0,0421	-3,01	0,003	-0,2098	-0,0444
	L5,	-0,1933	0,0477	-4,05	0,000	-0,2870	-0,0996
	L6,	-0,1344	0,0410	-3,27	0,001	-0,2148	-0,0539
dIED	L1,	-0,0091	0,0037	-2,41	0,016	-0,0165	-0,0017
	L2,	-0,0085	0,0041	-2,06	0,040	-0,0167	-0,0004
	L3,	0,0053	0,0043	1,23	0,217	-0,0031	0,0139
	L4,	0,0033	0,0054	0,61	0,544	-0,0074	0,0140
	L5,	0,0187	0,0047	3,94	0,000	0,0094	0,0281
	L6,	-0,0040	0,0040	-1,01	0,312	-0,0119	0,0038
dlogYpc							

	L1,	0,4836	0,1399	3,46	0,001	0,2093	0,7579
	L2,	-0,0796	0,1366	-0,58	0,560	-0,3475	0,1882
	L3,	0,3194	0,1388	2,30	0,021	0,0473	0,5916
	L4,	-0,4602	0,1755	-2,62	0,009	-0,8043	-0,1161
	L5,	-0,2893	0,1232	-2,35	0,019	-0,5309	-0,0478
	L6,	-0,2391	0,1119	-2,14	0,033	-0,4585	-0,0197
	_cons	-0,0033	0,0032	-1,05	0,295	-0,0096	0,0029
dlogER	dIP						
	L1,	-3,5972	0,4223	-8,52	0,000	-4,4250	-2,7695
	L2,	-0,5621	0,4929	-1,14	0,254	-1,5283	0,4040
	L3,	2,2595	0,5874	3,85	0,000	1,1081	3,4109
	L4,	-4,2131	0,6660	-6,33	0,000	-5,5184	-2,9077
	L5,	7,8300	0,5874	13,33	0,000	6,6787	8,9813
	L6,	-3,7759	0,7218	-5,23	0,000	-5,1907	-2,3611
	dlogNER						
	L1,	-0,0120	0,2637	-0,05	0,963	-0,5289	0,5048
	L2,	0,9272	0,2685	3,45	0,001	0,4008	1,4537
	L3,	-3,7108	0,2979	-12,45	0,000	-4,2948	-3,1268
	L4,	0,3902	0,2852	1,37	0,171	-0,1688	0,9492
	L5,	-0,0799	0,2018	-0,40	0,692	-0,4755	0,3156
	L6,	0,2081	0,1601	1,30	0,194	-0,1056	0,5220
	dlogER						
	L1,	-0,3049	0,0936	-3,26	0,001	-0,4883	-0,1214
	L2,	0,0740	0,0918	0,81	0,420	-0,1058	0,2540
	L3,	-0,2452	0,0776	-3,16	0,002	-0,3975	-0,0929
	L4,	0,4491	0,0845	5,31	0,000	0,2833	0,6148
	L5,	0,6110	0,0958	6,38	0,000	0,4231	0,7988
	L6,	-0,3750	0,0823	-4,56	0,000	-0,5364	-0,2137
	dIED						
	L1,	0,0218	0,0075	2,88	0,004	0,0069	0,0366
	L2,	0,0507	0,0083	6,09	0,000	0,0344	0,0671
	L3,	0,0006	0,0087	0,07	0,941	-0,0164	0,0177
	L4,	0,0229	0,0109	2,09	0,037	0,0013	0,0444
	L5,	-0,0130	0,0095	-1,37	0,172	-0,0317	0,0056
	L6,	0,0627	0,0080	7,77	0,000	0,0469	0,0785
	dlogYpc						
	L1,	-1,1005	0,2805	-3,92	0,000	-1,6504	-0,5506
	L2,	1,3556	0,2740	4,95	0,000	0,8185	1,8927
	L3,	-2,0790	0,2783	-7,47	0,000	-2,6246	-1,5334
	L4,	3,7750	0,3519	10,73	0,000	3,0852	4,4648
	L5,	0,3509	0,2470	1,42	0,156	-0,1333	0,8352
	L6,	0,6471	0,2244	2,88	0,004	0,2073	1,0870
	_cons	-0,0283	0,0064	-4,39	0,000	-0,0410	-0,0157
dIED	dIP						
	L1,	-22,5217	5,8568	-3,85	0,000	-34,000	-11,042
	L2,	10,9648	6,8365	1,60	0,109	-2,4345	24,3642
	L3,	0,95764	8,1468	0,12	0,906	-15,009	16,9252
	L4,	-7,23613	9,2362	-0,78	0,433	-25,338	10,8666
	L5,	51,6123	8,1463	6,34	0,000	35,6457	67,5788
	L6,	-11,9722	10,010	-1,20	0,232	-31,593	7,6487
	dlogNER						
	L1,	4,4434	3,6574	1,21	0,224	-2,7250	11,6119
	L2,	21,7030	3,7250	5,83	0,000	14,4022	29,0039
	L3,	-24,2029	4,1321	-5,86	0,000	-32,301	-16,104
	L4,	1,0689	3,9556	0,27	0,787	-6,6840	8,82195
	L5,	-12,1911	2,7991	-4,36	0,000	-17,677	-6,7049
	L6,	9,6580	2,2208	4,35	0,000	5,3052	14,0107
	dlogER						

	L1,	-5,9829	1,2981	-4,61	0,000	-8,5273	-3,4385
	L2,	5,1637	1,2732	4,06	0,000	2,6681	7,6593
	L3,	-1,8967	1,0775	-1,76	0,078	-4,0086	0,2152
	L4,	7,7569	1,1730	6,61	0,000	5,4578	10,0560
	L5,	0,6116	1,3290	0,46	0,645	-1,9932	3,2165
	L6,	4,7552	1,1414	4,17	0,000	2,5179	6,9925
	dIED						
	L1,	-0,2697	0,1051	-2,56	0,010	-0,4758	-0,0636
	L2,	-0,0954	0,1156	-0,83	0,409	-0,3221	0,1312
	L3,	-0,1848	0,1212	-1,52	0,127	-0,4225	0,0527
	L4,	-0,4462	0,1524	-2,93	0,003	-0,7450	-0,1474
	L5,	0,0001	0,1325	0,00	0,999	-0,2597	0,2599
	L6,	0,4755	0,1119	4,25	0,000	0,2560	0,6950
	dlogYpc						
	L1,	8,0706	3,8908	2,07	0,038	0,4446	15,6966
	L2,	-17,5811	3,8007	-4,63	0,000	-25,030	-10,131
	L3,	-3,9934	3,8607	-1,03	0,301	-11,560	3,5734
	L4,	11,9463	4,8809	2,45	0,014	2,3797	21,5128
	L5,	7,2743	3,4267	2,12	0,034	0,5580	13,9907
	L6,	-2,1872	3,1122	-0,70	0,482	-8,2871	3,9127
	_cons						
dlogYpc	dIP						
	L1,	0,0160	0,1615	0,10	0,921	-0,3005	0,3325
	L2,	0,4858	0,1885	2,58	0,010	0,1164	0,8553
	L3,	-1,8409	0,2246	-8,19	0,000	-2,2812	-1,4006
	L4,	0,7660	0,2546	3,01	0,003	0,2668	1,2652
	L5,	-1,7811	0,2246	-7,93	0,000	-2,2214	-1,3408
	L6,	0,5068	0,2760	1,84	0,066	-0,0342	1,0478
	dlogNER						
	L1,	0,3474	0,1008	3,45	0,001	0,1497	0,5451
	L2,	-0,5434	0,1027	-5,29	0,000	-0,7447	-0,3421
	L3,	0,6769	0,1139	5,94	0,000	0,4536	0,9003
	L4,	-0,4361	0,1090	-4,00	0,000	-0,6499	-0,2223
	L5,	-0,5236	0,0771	-6,78	0,000	-0,6749	-0,3723
	L6,	-0,2236	0,0612	-3,65	0,000	-0,3436	-0,1035
	dlogER						
	L1,	-0,0862	0,0357	-2,41	0,016	-0,1563	-0,0160
	L2,	-0,0705	0,0351	-2,01	0,045	-0,1393	-0,0016
	L3,	-0,0398	0,0297	-1,34	0,180	-0,0980	0,0183
	L4,	0,0160	0,0323	0,50	0,620	-0,0473	0,0794
	L5,	0,0845	0,0366	2,31	0,021	0,0127	0,1564
	L6,	0,1680	0,0314	5,34	0,000	0,1063	0,2297
	dIED						
	L1,	0,0061	0,0029	2,13	0,033	0,0004	0,0118
	L2,	-0,0162	0,0031	-5,09	0,000	-0,0224	-0,0099
	L3,	0,0147	0,0033	4,41	0,000	0,0081	0,0212
	L4,	-0,0017	0,0042	-0,40	0,686	-0,0099	0,0065
	L5,	0,0036	0,0036	1,01	0,312	-0,0034	0,0108
	L6,	-0,0162	0,0030	-5,26	0,000	-0,0222	-0,0101
	dlogYpc						
	L1,	0,3358	0,1072	3,13	0,002	0,1255	0,5461
	L2,	-0,6495	0,1048	-6,20	0,000	-0,8549	-0,4441
	L3,	0,8307	0,1064	7,80	0,000	0,6220	1,0394
	L4,	-0,4235	0,1345	-3,15	0,002	-0,6873	-0,1597
	L5,	0,3636	0,0944	3,85	0,000	0,1783	0,5488
	L6,	0,6044	0,0858	7,04	0,000	0,4362	0,7726
	_cons	0,0128	0,0024	5,22	0,000	0,0080	0,0177

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

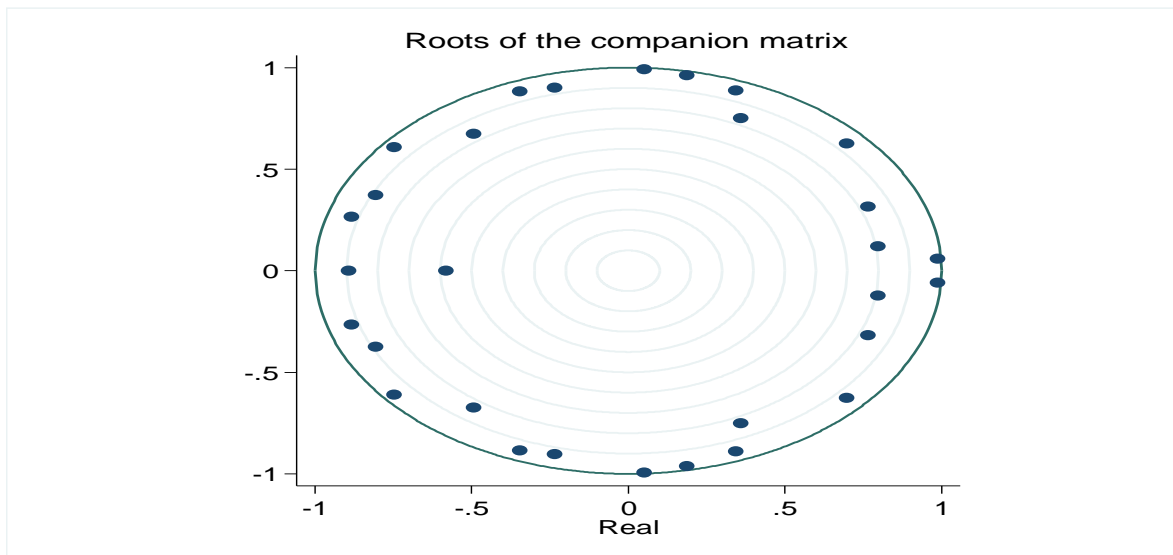
Pruebas de Post-Estimación

Prueba de estabilidad

En la Figura 6 se evidencia que el modelo VAR cumple con la condición de estabilidad dado que, cada uno de los puntos se ubican dentro de la circunferencia que hace mención a la unidad. Aunque cambien las especificaciones de los residuos el modelo VAR siempre será estable, por lo tanto, como los puntos están dentro del círculo se concluye que el modelo tiene estabilidad.

Figura 6

Prueba de estabilidad



Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Prueba de autocorrelación

En la Tabla 11, se puede concluir que no existe autocorrelación entre los errores, para ello se empleó la prueba del multiplicador de Lagrange, donde este test de autocorrelación de residuos manifiesta que los errores de un periodo dependen de otro periodo. Se acepta la hipótesis nula de no autocorrelación, porque los valores de Prob>chi2 son mayores a 0,05.

Tabla 11*Prueba de multiplicador de Lagrange*

lags(p)	chi2	df	Prob > F
1	35,002	25	0,088
2	43,663	25	0,012
3	31,813	25	0,164
4	17,157	25	0,876
5	23,201	25	0,566
6	17,802	25	0,851

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).**Prueba de normalidad**

Se reporta la normalidad por medio de tres pruebas el test de Jarque-Bera (Tabla 12), de Asimetría (Tabla 13) y de Kurtosis (Tabla 14), donde la hipótesis nula establece la existencia de normalidad, por lo tanto, si los valores de la $Prob > chi2$ son mayores a 0,05 se acepta la hipótesis nula, caso contrario se rechaza.

Tabla 12*Prueba de normalidad de Jarque - Bera*

Ecuación	chi2	df	Prob > chi2
Contaminación ambiental	0,41	2	0,814
Consumo de energía no renovable	8,78	2	0,012
Consumo de energía renovable	0,64	2	0,727
Inversión extranjera directa	0,71	2	0,702
PIB per cápita	12,20	2	0,002
ALL	22,73	10	0,012

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Tabla 13*Prueba de normalidad de Skewness*

Ecuación	Skewness	chi2	df	Prob > chi2
Contaminación ambiental	-0,016	0,002	1	0,968
Consumo de energía no renovable	-0,923	5,541	1	0,019
Consumo de energía renovable	0,223	0,324	1	0,569
Inversión extranjera directa	0,202	0,264	1	0,607
PIB per cápita	-0,124	0,100	1	0,752
ALL		6,231	5	0,284

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).**Tabla 14***Prueba de normalidad de Kurtosis*

Ecuación	Skewness	chi2	df	Prob > chi2
Contaminación ambiental	3,501	0,408	1	0,523
Consumo de energía no renovable	4,411	3,235	1	0,072
Consumo de energía renovable	2,561	0,314	1	0,575
Inversión extranjera directa	2,477	0,444	1	0,505
PIB per cápita	5,729	12,103	1	0,001
ALL		16,504	5	0,006

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

Anexo 5

Modelo Vectores de Corrección de Error (VEC)

En la tabla 15, se observa la regresión completa del modelo VEC.

Tabla 15

Modelo de Vectores de Corrección de Error (VEC)

Sample:	1973-2015	Number of obs	=	43			
		AIC	=	-48,73225			
Log likelihood	= 1064,743	HQIC	=	-48,47548			
Det (Sigma_ml)	= 1,25e-29	SBIC	=	-48,03597			
		Coef,	Std, Err	Z	P> z	[95% Conf, Interval]	
dIP							
	_cel						
	L1,	0,0318	0,0225	1,41	0,158	-0,0123	0,0760
	_cons	-0,0007	0,0024	-0,29	0,776	-0,0056	0,0041
dlogNER							
	_cel						
	L1,	-0,0263	0,0517	-0,51	0,611	-0,1277	0,0751
	_cons	-0,0003	0,0057	-0,07	0,946	-0,0116	0,0108
dlogER							
	_cel						
	L1,	-0,0415	0,1591	-0,26	0,794	-0,3535	0,2704
	_cons	0,0039	0,0176	0,22	0,823	-0,0306	0,0385
dIED							
	_cel						
	L1,	4,8657	1,7998	2,70	0,007	1,3380	8,3933
	_cons	0,0030	0,1995	0,02	0,988	-0,3880	0,3940
dlogYpc							
	_cel						
	L1,	0,0713	0,0480	1,48	0,138	-0,0229	0,1655
	_cons	-0,0021	0,0053	-0,40	0,691	-0,0125	0,0083
D_cell							
	_cel						
	L1,	1	4,72e-09	2,1e+08	0,000	1	1
	_cons	-0,0142	5,23e-10	-2,7e+07	0,000	-0,0142	-0,0142

Nota. Adaptado del Banco Mundial (2020).

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las variables	30
Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las variables	33
Tabla 3. Resultados del modelo MCO.....	47
Tabla 4. Corrección del modelo mediante MCG.....	49
Tabla 5. Pruebas de raíz unitaria con primeras diferencias.....	52
Tabla 6. Prueba de cointegración de Johansen.....	53
Tabla 7. Modelo VAR largo plazo	54
Tabla 8. Resultado del modelo de corrección de error VEC.....	55
Tabla 9. Modelo VEC corto plazo.....	55
Tabla 10. Resultados de la prueba de causalidad	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de cobertura	viii
Figura 2. Evolución de la contaminación ambiental, periodo 1970 – 2015.....	42
Figura 3. Evolución del consumo de energía no renovable, periodo 1970 – 2015.....	44
Figura 4. Correlación entre la contaminación ambiental y consumo de energía no renovable	45
Figura 5 Comportamiento tendencial de las variables, periodo 1970 – 2015	51