

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas

Análisis del Impacto Ambiental y el Crecimiento Económico mediante la Curva

Ambiental de Kuznets

ADMI-1155

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Grado en Economía

Presentado por:

Edinson Ismael Carrasco Maldonado

Víctor Manuel Rodríguez Guerrero

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

A mis padres, hermanos y familia, por ser mi motivación, mi mayor refugio y por estar siempre a mi lado apoyándome y celebrando mis logros.

Edinson Carrasco Maldonado

A mis padres que, con su amor incondicional y sacrificios, han sido mi mayor inspiración.
A Joselyne y a mis compañeros, por su apoyo y compañía en este camino.

Victor Rodriguez Guerrero

Declaración Expresa

Nosotros Edinson Ismael Carrasco Maldonado y Victor Manuel Rodriguez Guerrero acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor de los autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 9 de julio del 2024.


Victor Rodriguez


Edinson Carrasco

Evaluadores

Maria Cristina Aguirre Valverde

Profesor de Materia

Liliana Alexandra Alencastro Lopez

Tutor de proyecto

Resumen

El bienestar general de las personas depende de muchas variables, entre estas destacan el crecimiento económico y medioambiente. Este trabajo evalúa la relación entre estas dos variables en Ecuador mediante la Curva Ambiental de Kuznets (CAK). Este análisis es esencial para formular políticas públicas que encaminen al país hacia una economía sostenible. Se utilizaron modelos econométricos VAR y ARDL para analizar relaciones entre sectores claves de la economía y dos diferentes variables de degradación ambiental. Se utilizó el software Stata para la implementación de los modelos. Se encontró que innovaciones en Industria, Agricultura y Servicios tienen efectos positivos permanentes en el largo plazo sobre la Huella Ecológica (HE), mientras que el PIB per cápita muestra efectos negativos permanentes a largo plazo; sin embargo, esto no sucede con el Agotamiento de los Recursos Naturales (ARN). El cumplimiento de la hipótesis CAK depende tanto del modelo econométrico usado como de la variable de degradación ambiental estudiada. Los resultados sugieren que Ecuador se encuentra en una etapa temprana de la CAK sin un punto de inflexión claro, lo cual coincide con lo encontrado por Zambrano et al. (2016). Para futuras investigaciones se sugiere la incorporación de variables sobre políticas y normativas ambientales.

Palabras Clave: Crecimiento, Medioambiente, VAR, ARDL, Desarrollo sostenible

Abstract

The general welfare of people depends on many variables, such as economic growth and environment. This work assesses the relation between these variables in Ecuador using the Environmental Kuznets Curve (EKC). This analysis is essential for formulating public policies to move the country towards a sustainable economy. Vector Autoregressive and Distributed Lagged Autoregressive econometric models were used to analyze relationships between key sectors of the economy and two different environmental degradation variables. Stata software was used to implement the models. It was found that innovations in Industry, Agriculture and Services have permanent positive effects in the long run on the Ecological Footprint (EF), while GDP per capita showed permanent negative effects in the long run. However, this is not the case for Natural Resource Depletion (NRA). Compliance with the CAK hypothesis depends on both the econometric model used and the environmental degradation variable studied. Results suggest that Ecuador is at an early stage of the CAK without a clear tipping point, supporting the found by Zambrano et al. (2016). For future research, the incorporation of variables in environmental policies and regulations is suggested.

Keywords: Growth, Environment, VAR, ARDL, Sustainable Development

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
<i>Índice de figuras</i>	IV
<i>Índice de tablas</i>	IV
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	3
1.3 Justificación del Problema	5
1.4 Objetivos	6
<i>1.4.1 Objetivo general</i>	6
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	6
1.5 Marco teórico	7
<i>1.5.1 Estado del arte: Análisis de la CAK en el Ecuador</i>	9
Capítulo 2	11
2. Metodología.	12
2.1 Fuente de datos y variables	12
2. 2 Modelos econométricos	14
<i>2.2.1 Modelo de Vectores Autorregresivos (VAR)</i>	15
<i>2.2.2 Modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos (ARDL)</i>	20
Capítulo 3	24
3. Resultados y análisis	25
3.1 Análisis descriptivo de las variables de estudio	25
3.2 Modelo de Vectores de Corrección de Errores	26
3.3 Modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos	33

Capítulo 4	41
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	42
4.1.1 Conclusiones.....	42
4.1.2 Recomendaciones.....	44
Referencias	45
Apéndices	50

Índice de figuras

Figura 1. <i>Funciones Impulso-Respuesta - Modelo Huella Ecológica</i>	32
Figura 2. <i>Funciones Impulso-Respuesta - Modelo Agotamiento de Recursos Naturales</i>	33
Figura 3. <i>Gráficos de estabilidad de los modelos</i>	37

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Análisis de estadísticas descriptivas de las variables de estudio</i>	26
Tabla 2. <i>Prueba de raíz unitaria</i>	27
Tabla 3. <i>Numero óptimo de rezagos para cada modelo</i>	28
Tabla 4. <i>Numero de rangos dados por la prueba de cointegración de Johansen</i>	28
Tabla 5. <i>Pruebas de Multiplicador de Lagrange para autocorrelación</i>	29
Tabla 6. <i>Prueba de normalidad en las perturbaciones</i>	30
Tabla 7. <i>Estimaciones del Vector de Corrección de Errores – Ecuaciones de Cointegración</i>	31
Tabla 8. <i>Prueba de límites - Cointegración de las series</i>	35
Tabla 9. <i>Autocorrelación, Homocedasticidad y Normalidad</i>	36
Tabla 10. <i>Estabilidad de los modelos</i>	36
Tabla 11. <i>Estimaciones del modelo ARDL Huella</i>	38
Tabla 12. <i>Estimaciones del modelo ARDL Invernadero</i>	39
Tabla 13. <i>Estimaciones del modelo ARDL Recursos</i>	40

Capítulo 1

1.1 Introducción

Desde la revolución industrial, las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado drásticamente debido a la quema de combustibles fósiles, la deforestación y otras actividades humanas intensivas en carbono, provocando un calentamiento acelerado de la atmosfera y trayendo consigo un rápido crecimiento de las temperaturas globales, generando fenómenos climáticos extremos como sequías, incremento del nivel del mar, disminución de biodiversidad e incrementos de huracanes, tormentas y olas de calor en todo el mundo (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022).

Gran parte de los impactos negativos en el medio ambiente provienen de actividades económicas como la producción agrícola e industrial, la minería, extracción de petróleo, consumo intensivo de energía, entre otras; fuentes de contaminación que están relacionadas con el crecimiento económico, por lo que a medida que la economía de un país crece, la contaminación ambiental que este genera también lo hace (Falconí, Burbano, & Cango, 2016).

En la búsqueda de un crecimiento económico sostenido, muchas economías en transición han intensificado la explotación de recursos naturales, generado mayores niveles de industrialización y urbanización, acelerando consigo las emisiones de gases de efecto invernadero y la degradación de los recursos naturales (Grossman & Krueger, 1995). En este sentido, el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental representan dos desafíos interdependientes que afectan profundamente a los países en desarrollo

Sin embargo, esta degradación ambiental solo se daría en el corto plazo pues según la Curva Ambiental de Kuznets (CAK) a medida que la economía crece en el largo plazo; una vez alcanzado cierto nivel de ingreso, el crecimiento económico puede provocar mejoras en el medio ambiente, esto debido a que economías con ingresos elevados tienden a adoptar tecnologías limpias e implementar políticas ambientales efectivas (Grossman & Krueger, 1991).

Ecuador enfrenta desafíos en cuanto a degradación ambiental, dado que sus principales actividades económica como la minera, la agricultura y extracción de petróleo han provocado contaminación en los suelos, en los cuerpos de agua, a la deforestación y a la pérdida de biodiversidad (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015). Estas actividades, si bien son vitales para la economía ecuatoriana, presentan graves problemas para la sostenibilidad del país.

Así mismo, en Ecuador se han implementado iniciativas para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y se han adoptado incentivos fiscales para promover una economía baja en carbono, sin embargo, persisten desafíos como la alta dependencia de combustibles fósiles y la necesidad de avanzar hacia un modelo de producción sostenible (Almeida, 2016).

Estas características hacen de Ecuador un caso ideal para estudiar la relación entre el crecimiento económico y el impacto ambiental a través del modelo de la CAK, permitiéndonos evaluar si se cumple la hipótesis que plantea y determinar si el país se está encaminando hacia una economía sostenible.

Este estudio aborda la CAK desde una perspectiva cuantitativa, utilizando modelos econométricos que permitan relacionar variables de crecimiento económico con variables de degradación ambiental, buscando determinar si la relación entre crecimiento económico e impacto ambiental en Ecuador se ajusta a la CAK o si persiste un efecto negativo continuo sin un punto de inflexión claro.

1.2 Descripción del Problema

El cambio climático representa una amenaza para la biodiversidad y los ecosistemas, y de no actuar a tiempo, sus efectos pueden llegar a ser desastrosos en términos económicos y sociales. Según las Naciones Unidas (2023), los efectos del cambio climático abarcan áreas críticas como la salud humana, los ecosistemas, la seguridad alimentaria, el agua y la economía global. Así mismo, afirman que el cambio climático es una de las principales amenazas para el

desarrollo sostenible, pues intensifican fenómenos climáticos extremos y afectan principalmente a los países en desarrollo que son los más vulnerables y de poca adaptación.

Desde una perspectiva neoclásica, se asume que el crecimiento económico impulsa el bienestar mediante la generación de empleo, reducción de la pobreza y aumento del consumo, sin embargo, a medida que los países desarrollan sus economías, el impacto ambiental de la actividad económica es evidente, pues frecuentemente crecimiento económico implica mayor uso de recursos y generación de residuos contaminantes (Todaro & Smith, 2020).

En Ecuador, una preocupación urgente es la relación entre sostenibilidad medioambiental y crecimiento económico pues a medida que el país busca impulsar su economía mediante la explotación de recursos naturales, la agricultura intensiva y la industrialización, los efectos sobre el medio ambiente se vuelven cada vez más evidentes y alarmantes, debido a que estas actividades económicas contribuyen significativamente al aumento de las emisiones de CO₂, así como a la deforestación y la degradación de los recursos hídricos y del suelo (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023). Estos problemas no solo amenazan al equilibrio ambiental, sino también impactan en el bienestar de las comunidades cercanas a estas actividades económicas y comprometen los recursos naturales para las generaciones futuras.

De acuerdo con la teoría de la CAK, una vez alcanzado cierto nivel de ingreso, las economías tienden a invertir más en tecnologías limpias, regulaciones ambientales y estructuras de consumo sostenibles, disminuyendo así la degradación ambiental. Sin embargo, en el contexto ecuatoriano, no está claro si dicho punto de inflexión ha sido alcanzado o si el impacto ambiental seguirá aumentando sin control conforme crece la economía. Debido a esta ambigüedad, es necesario un análisis empírico de la conexión entre el efecto medioambiental aun el crecimiento económico del país.

1.3 Justificación del Problema

La importancia de resolver el cambio climático radica en que, sin una acción oportuna, sus efectos pueden volverse irreversibles y generar costos crecientes, no solo en términos económicos, sino también en la pérdida de vida, biodiversidad y recursos naturales esenciales. (Naciones Unidas, 2023).

Esto es especialmente relevante en el caso de Ecuador, dado que es un país con alta biodiversidad y una economía que depende de actividades con un considerable impacto ambiental como la extracción de petróleo, la agricultura y minera. La creciente preocupación por este problema y la necesidad de adoptar un enfoque de desarrollo económico sostenible exigen abordar de manera integral la relación entre crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental para garantizar un futuro viable.

En este contexto, la presente investigación es valiosa porque permite obtener una visión clara y actualizada sobre el estado actual de la relación entre el impacto ambiental y el crecimiento económico en el Ecuador, mediante el análisis de la Curva Ambiental de Kuznets. Este enfoque resulta fundamental para observar como el desarrollo económico puede influir en estado ambiental y a identificar si el Ecuador ha alcanzado, o está próximo a alcanzar, un punto de inflexión en el que el crecimiento económico comience a contribuir positivamente a la sostenibilidad ambiental.

Identificar este punto de inflexión es clave para el diseño de estrategias de desarrollo que integren el crecimiento económico con la protección del medio ambiente. Además, esta investigación tiene la capacidad de contribuir al Objetivo de Desarrollo Sostenible “Acción por el Clima”, siendo este objetivo fundamental debido a que el cambio climático constituye uno de los desafíos más apremiantes de nuestra era (Naciones Unidas, 2023)

Por lo tanto, los hallazgos de esta investigación tienen el potencial de ofrecer evidencia valiosa sobre la relación entre crecimiento económico e impacto ambiental en Ecuador. Estos

resultados pueden contribuir al debate académico sobre la aplicabilidad de la CAK en países en desarrollo, así como proporcionar una base empírica para la formulación de políticas efectivas y sostenibles, permitiendo al país avanzar hacia un modelo de crecimiento económico inclusivo y ambientalmente responsable, donde el desarrollo económico no comprometa los recursos naturales ni el bienestar de futuras generaciones.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la relación entre el crecimiento económico y distintas variables de impacto ambiental en Ecuador mediante la Curva Ambiental de Kuznets para la identificación de un punto de inflexión y patrones en el cual el crecimiento económico comienza a mitigar los efectos negativos sobre el medio ambiente.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Establecer el estado del arte del análisis de la CAK en Ecuador, mediante la revisión de literatura científica y académica.
2. Realizar un análisis de sensibilidad de diferentes variables de impacto ambiental en Ecuador para identificar patrones que sugieran el cumplimiento de la CAK mediante el uso de modelos econométricos de series de tiempo.
3. Determinar la existencia del punto de inflexión en el que el crecimiento económico reduce progresivamente el impacto ambiental.
4. Determinar el alcance y la duración de los efectos de la expansión económica analizando sus efectos a corto y largo plazo sobre las variables de degradación ambiental.

1.5 Marco teórico

Un debate aún vigente en la economía gira en torno a la posible compatibilidad entre el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. Por un lado, algunos expertos sostienen que el desarrollo económico inevitablemente conlleva a una degradación ambiental, mientras que, existen quienes afirman que el crecimiento económico es una herramienta indispensable para financiar y promover la conservación ambiental (Díaz, 2011).

Como respuesta a este debate tenemos la investigación pionera por Grossman y Krueger (1991), los cuales plantearon la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets en la que explican que el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental pueden ser compatibles en el largo plazo, si se aplican políticas ambientales adecuadas a medida que las economías se desarrollan.

El trabajo de estos autores sugiere que, en las primeras etapas de desarrollo económico, la degradación ambiental tiende a aumentar, ya que los países se centran en la industrialización y en el desarrollo sin priorizar el impacto ambiental; sin embargo, a medida que una economía madura y alcanza niveles altos de ingreso, las sociedades empiezan a demandar mejores condiciones ambientales y a implementar políticas de protección, lo que lleva a una reducción de la contaminación.

En este sentido, investigaciones como la de Sánchez (2018) examinan la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental para 122 países clasificándolos según sus niveles de ingreso. El autor indica que en países ricos la relación entre CO₂ y el PIB per cápita no cumplen con la hipótesis de la CAK, pero si lo hace para países de ingresos bajos al usar la superficie vegetal como variable de degradación ambiental. Estos resultados difieren con lo encontrado por Falconí et al. (2016), donde indican que la relación entre el ingreso per cápita y las emisiones de CO₂, de los 50 países analizados, solo 22 respaldan la hipótesis del modelo CAK y estos usualmente son países desarrollados.

Por otro lado, autores como Granda et al. (2008) indican en su trabajo que los análisis de la CAK en datos de panel enfocados en efectos fijos o aleatorios son espurios, por lo que proponen hacer uso de pruebas de raíz unitaria y cointegración en datos de panel para 46 países. Los autores para su investigación hacen uso de la contaminación del agua como variable de degradación ambiental y usan el PIB per cápita y la intensidad comercial como variables de crecimiento económico, demostrando con sus análisis de que no existe una CAK para los países analizados y sugieren el uso de otros indicadores comerciales que pueden captar mejor el impacto del comercio en la degradación ambiental.

Para la región de Latinoamérica, existen estudios como el de Ochoa et al. (2022) los cuales analizaron 20 países, haciendo uso de las variables de turismo internacional y emisiones de CO₂. Los autores encontraron que el impacto del turismo en las emisiones de CO₂ dependen del nivel de ingresos de los países, donde economías de altos ingresos se alinean con la CAK, pero en países de bajos ingresos esto no sucede. Esto concuerda con lo hallado por Zilio & Caraballo (2014) en donde concluyen que no hay evidencia que confirme esta teoría en los países de la región de América Latina, dado que afirman que los países más ricos llevan su contaminación ambiental hacia estos países menos desarrollados.

Para casos de países individuales, Correa et al. (2005), exploran la aplicación de la CAK en Colombia. Los autores muestran que el crecimiento económico está asociado con un aumento en las emisiones de CO₂, SO₂ y la demanda biológica de oxígeno sin un punto de inflexión claro donde el impacto ambiental comience a disminuir. Así mismo, determinan que el coeficiente de GINI ayuda a reducir el deterioro ambiental y concluyen que Colombia se encuentran en las etapas iniciales de la hipótesis de la CAK.

De igual manera, los autores como Zambrano et al. (2018), analizan la relación entre las emisiones de CO₂, el crecimiento económico y el consumo de energía en Perú. Sus resultados muestran una cointegración estable a largo plazo entre estas variables, no obstante, la hipótesis

de la CAK no se cumple, ya que las emisiones de CO₂ siguen aumentando con el crecimiento del ingreso, lo que sugiere que Perú no ha alcanzado el punto en el que el crecimiento económico reduce el impacto ambiental.

1.5.1 Estado del arte: Análisis de la CAK en el Ecuador

Para el caso de Ecuador, tenemos que autores como Freire (2021), Macas y Macas, (2023) y Salvador et al. (2023) realizaron un análisis de regresión lineal en donde encuentran que el país no crece en base a su contaminación, aun cuando la relación entre las variables de crecimiento económico y degradación ambiental son positivas en la mayoría de casos, debido a que su tendencia es muy irregular; concluyendo entonces que la CAK no se ajusta al caso de la economía ecuatoriana. Estos autores recomiendan el uso de otras variables contaminantes aparte del CO₂ que reflejen de mejor manera la realidad del país, así como el actualizar la data para visualizar un posible punto de inflexión claro.

Por otro lado, autores como Robalino et al. (2014), Zambrano et al. (2016) Molero et al. (2021) y Borja et al. (2024), mediante técnicas de cointegración y modelos de rezagos autorregresivos finitos (ARDL), encontraron que variables como el precio del petróleo, consumo de energía eléctrica y primaria tienen relación positiva con las emisiones de CO₂, destacan que no existe presencia de CAK en el corto plazo, pero ésta si se da en el largo plazo, destacando entonces que el Ecuador actualmente se encuentra en las etapas de un camino hacia la estabilidad ambiental, siempre y cuando el estado proporcione las vías adecuadas para ello.

En la misma línea, estudios que hacen uso de modelos autorregresivos (VAR) para analizar el caso ecuatoriano como los de Renteria et al. (2016), Vizuete (2023) y Ruiz et al. (2024) encuentran que, en el corto plazo el crecimiento económico aumenta la degradación ambiental, sin embargo, en el largo plazo esta relación es inversa, sugiriendo el cumplimiento de la hipótesis planteada por la CAK. Los autores indican que, dado que el país se encuentra en la

primera fase de la CAK, es crucial implementar políticas ambientales que permitan minimizar la degradación ambiental sin comprometer el crecimiento económico.

La variabilidad de los resultados de la literatura sugiere que factores institucionales, el tipo de industria predominante y el acceso a tecnología avanzada son determinantes en la capacidad de un país para reducir sus niveles de contaminación al aumentar el ingreso per cápita (Stern, 2004). Así, aunque la CAK ha sido validada en algunos países desarrollados, su aplicabilidad en el contexto de economías emergentes como la ecuatoriana, sigue siendo objeto de debate.

Capítulo 2

2. Metodología.

Para la evaluación de la relación entre impacto ambiental y crecimiento económico en Ecuador se consideró realizar un análisis de sensibilidad de los indicadores de degradación ambiental, esto debido a que investigaciones previas sugieren que la presencia de la CAK depende de la variable que se use como indicadora de daño ambiental (Correa et al, 2005; Granda et al, 2008; Macas y Macas 2023; Rentería et al, 2016; Sánchez, 2018).

2.1 Fuente de datos y variables

La recopilación de la información de las variables de estudio se realizó a través de diferentes plataformas: Red de Huella Global (2024), Nuestro Mundo en Datos (2024), Banco Mundial (2024) y Grupo del Banco Mundial (2024). La información obtenida de estas variables a través de estas plataformas llega a abarcar datos anuales para Ecuador desde el año 1960 hasta el 2023.

En la base de datos “Tendencias de reservas y déficit” que proporciona Red de Huella Global, se obtuvieron los datos anuales de la Huella Ecológica (Hectáreas Globales) para Ecuador. Mientras que, en la base de datos “Energía y Medioambiente” de Nuestro Mundo en Datos, se obtuvieron los datos anuales para Ecuador de Gases de Efecto Invernadero (en toneladas equivalentes de dióxido de carbono en una escala de tiempo de 100 años), Gases Contaminantes del Aire (en toneladas equivalentes de dióxido de carbono en una escala de tiempo de 100 años) y Consumo de Energía Primaria (Tera Watt Hora).

En la base de datos “Indicadores de desarrollo mundial” del Banco mundial, se obtuvieron los datos anuales para Ecuador de Ahorro Ajustado: Agotamiento de los Recursos Naturales, Producto Interno Bruto per cápita (PIBpc), Valor Añadido de Industria (Incluida la Construcción), Valor añadido de Agricultura, Silvicultura y Pesca, Valor Añadido de Servicios, así como de Comercio; todas estas variables se encuentran en dólares actuales.

Finalmente, en la base de datos “Mercado de Materias Primas” del Grupo del Banco Mundial, se obtuvieron los datos anuales internacionales del Precio Promedio del Petróleo Crudo. Este promedio se realizó entre los precios del petróleo crudo Brent, Dubái e Intermedio del Oeste de Texas.

Algo a mencionar sobre las bases de datos usadas en este proyecto es que pueden existir cambios estructurales en las economías, tecnologías y políticas ambientales que pueden no ser capturadas adecuadas por las variables seleccionadas, así como posibles efectos de multicolinealidad en los indicadores de actividades económicas del país. Por otro lado, variables como contaminantes del aire o el agotamiento de los recursos naturales podrían no abarcar todos los tipos de emisiones relevantes para el caso de Ecuador.

En esta investigación, se tomaron como variables de degradación ambiental (variables dependientes) a los siguientes indicadores:

- Huella Ecológica (1961 a 2022): Es la medida de área de tierra y agua biológicamente productiva que necesita una persona, población o actividad para generar los recursos que utilizará y asimilar los residuos que produce (Red de Huella Global, 2024). Esta medida puede capturar los efectos de actividades económicas en la sostenibilidad ambiental, siendo útil como un indicador del impacto humano sobre el medio ambiente en Ecuador.
- Gases de efecto invernadero (GEI) (1960 a 2022): Los GEI incluyen dióxido de carbono, metano y óxido nitroso provenientes de diversas fuentes, incluido el cambio de uso de tierra. (Nuestro mundo en datos, 2024). Estos gases, emitidos principalmente por el uso de combustibles fósiles, la industria y agricultura, constituyen un indicador clave del impacto ambiental asociado al calentamiento global, resultando esencial para evaluar la situación ambiental de Ecuador.

- Gases contaminantes del aire (1960 a 2022): Los contaminantes del aire son gases que pueden tener efectos perjudiciales tanto en la salud humana como para los ecosistemas. Entre estos se encuentran el Oxido Nitrógeno, el Dióxido de Azufre, Monóxido de Carbono, Carbón Negro, Amoniac y Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (Nuestro mundo en datos, 2024). Dado que la mayoría de estos contaminantes provienen de sectores como la energía, la industria y la agricultura, su análisis resulta esencial para entender y abordar la situación ambiental en el Ecuador.
- Consumo de energía primaria (1965 a 2023): Es la medida del total de la energía contenida en los recursos naturales antes de su conversión en formas utilizables, como electricidad, transporte y calefacción, incluyendo las ineficiencias y la energía perdida durante su transformación (Nuestro mundo en datos, 2024). Esta variable permite realizar un análisis del impacto ambiental de Ecuador a través del consumo energético, considerando tanto fuentes de energía renovables como no renovables.
- Ahorro Ajustado: Agotamiento de los Recursos Naturales (1970 a 2021): Es la pérdida del valor económico por la extracción o explotación de los recursos naturales, esta variable está compuesta por el agotamiento neto de los bosques, de la energía y de los minerales (Banco Mundial, 2024). Dado que este indicador está asociada a la explotación de recursos naturales, resulta útil para analizar el impacto ambiental en economías extractivistas como el Ecuador.

2. 2 Modelos econométricos

Dado a que se cuenta con cinco variables representativas del impacto ambiental, y considerando que el enfoque principal de esta investigación fue realizar un análisis de sensibilidad, se optó por realizar un análisis de cinco modelos distintos. Estos modelos difieren

únicamente en la variable dependiente, correspondiendo a cada uno a una de las variables de impacto ambiental seleccionadas. Estas variables dependientes fueron elegidas debido a que reflejan de manera adecuada la realidad de Ecuador, un país cuya economía está orientada fuertemente hacia actividades extractivas, agrícolas y, en menor medida, a la industria. Por ende, cada una de estas variables dependientes permiten evaluar diferentes aspectos del impacto ambiental en el contexto económico y social del país, proporcionando un análisis integral de los efectos de estas actividades.

Según Stock & Watson (2012), los modelos de Vectores Autorregresivos (VAR) permiten capturar la dinámica conjunta entre distintas variables a lo largo del tiempo, así como evaluar el impacto dinámico de un shock en una variable sobre otras a través de análisis de Funciones Impulso-Respuesta (IRF). Del mismo modo, los modelos ARDL son una herramienta clave para capturar la dinámica temporal entre las variables, es flexible en cuanto a ordenes de integración en los datos y estos llegan a tener una interpretación más directa y fácil de comprender.

En este sentido, los modelos que se usaron para analizar las relaciones entre las variables de estudio fueron la aplicación de los modelos VAR, y ARDL, ya que estos modelos permitirían verificar la validez de la CAK al descomponer y cuantificar los efectos económicos sobre el medio ambiente tanto en el corto como en el largo plazo. El análisis econométrico se realizó en el software estadístico Stata 17.

2.2.1 Modelo de Vectores Autorregresivos (VAR)

Cada modelo VAR estuvo definido de la siguiente manera:

$$Y_t = \beta(L)Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

Donde Y_t es el vector de las variables de estudio. $\beta(L)$ contiene el operador de rezagos polinomial de orden p de las variables y ε es el vector de los términos de perturbación. Se incluyó la suposición de que el vector de errores sigue una distribución normal con media cero y hay presencia de homocedasticidad.

Específicamente, cada modelo viene dado de la forma:

$$\textbf{Modelo Huella: } Y_t^1 = A_1 Y_{t-1}^1 + A_2 Y_{t-2}^1 + \dots + A_p Y_{t-p}^1 + \varepsilon_t^1 \quad (2.2)$$

Donde:

Y_t^1 es un vector columna de 7x1 que contiene las variables Huella Ecológica, PIBpc, valor agregado de industrias, valor agregado de agricultura, silvicultura y pesca, valor agregado de servicios; comercio y precio promedio del petróleo.

A_i es una matriz 7x7 que representa los coeficientes asociados a las variables rezagadas del periodo $t - i$.

ε_t^1 es un vector de perturbaciones de dimensión 7x1

$$\textbf{Modelo Invernadero: } Y_t^2 = B_1 Y_{t-1}^2 + B_2 Y_{t-2}^2 + \dots + B_p Y_{t-p}^2 + \varepsilon_t^2 \quad (2.3)$$

Donde:

Y_t^2 es un vector columna de 7x1 que contiene las variables GEI, PIBpc, Valor agregado de industrias, valor agregado de agricultura, silvicultura y pesca, valor agregado de servicios; comercio y precio promedio del petróleo.

B_i es una matriz 7x7 que representa los coeficientes asociados a las variables rezagadas del periodo $t - i$.

ε_t^2 es un vector de perturbaciones de dimensión 7x1

$$\textbf{Modelo Aire: } Y_t^3 = C_1 Y_{t-1}^3 + C_2 Y_{t-2}^3 + \dots + C_p Y_{t-p}^3 + \varepsilon_t^3 \quad (2.4)$$

Donde:

Y_t^3 es un vector columna de 7x1 que contiene las variables contaminantes del aire, PIBpc, valor agregado de industrias, valor agregado de agricultura, silvicultura y pesca, valor agregado de servicios; comercio y precio promedio del petróleo.

C_i es una matriz 7x7 que representa los coeficientes asociados a las variables rezagadas del periodo $t - i$.

ε_t^3 es un vector de perturbaciones de dimensión 7x1

$$\textbf{Modelo Energía: } Y_t^4 = D_1 Y_{t-1}^4 + D_2 Y_{t-2}^4 + \dots + D_p Y_{t-p}^4 + \varepsilon_t^4 \quad (2.5)$$

Donde:

Y_t^4 es un vector columna de 7x1 que contiene las variables consumo de energías primarias, PIBpc, valor agregado de industrias, valor agregado de agricultura, silvicultura y pesca, valor agregado de servicios; comercio y precio promedio del petróleo.

D_i es una matriz 7x7 que representa los coeficientes asociados a las variables rezagadas del periodo $t - i$.

ε_t^4 es un vector de perturbaciones de dimensión 7x1

$$\textbf{Modelo Recursos: } Y_t^5 = E_1 Y_{t-1}^5 + E_2 Y_{t-2}^5 + \cdots + E_p Y_{t-p}^5 + \varepsilon_t^5 \quad (2.6)$$

Donde:

Y_t^5 es un vector columna de 7x1 que contiene las variables agotamiento de los recursos naturales, PIBpc, valor agregado de industrias, valor agregado de agricultura, silvicultura y pesca, valor agregado de servicios; comercio y precio promedio del petróleo.

E_i es una matriz 7x7 que representa los coeficientes asociados a las variables rezagadas del periodo $t - i$.

ε_t^5 es un vector de perturbaciones de dimensión 7x1

Para realizar los modelos VAR, se realizaron 3 pruebas para la verificación de estacionariedad en las series, estas fueron las pruebas de Dickey-Fuller Mínimos Cuadrados Generalizados (DF-MCG), Phillips-Perron y Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), con el fin de determinar si las series eran integradas de orden cero (I (0)), o de un orden superior. Dado que las series eran integradas de orden uno (I (1)), se optó por realizar modelos de vector de corrección de errores (VECM).

La prueba DF-MCG, propuesta por Elliott et al. (1996) utiliza una transformación de la serie a través de una regresión de Mínimos Cuadrados Generalizados para eliminar componentes determinísticos, llegando a ser más potente que la prueba de Dickey Fuller Aumentado (ADF). Esta prueba tiene por hipótesis nula que la serie es una caminata aleatoria con deriva donde contempla supuestos de no la serie temporal es continua, sin datos faltantes, los errores son homocedásticos y no auto correlacionados.

De la misma manera, la prueba Phillips-Perron, propuesta por Phillips y Perron (1988), es una alternativa más robusta a la prueba ADF. Partiendo de la ecuación básica de Dickey-Fuller, los autores utilizan errores estándar de Newey-West para tener en cuenta la correlación serial y heterocedasticidad. En esta prueba, la hipótesis nula hace referencia a que la serie no sigue un proceso estacionario.

Por otro lado, la Prueba KPSS propuesta por Kwiatkowski et al. (1992), a diferencia de las dos anteriores, tiene como hipótesis nula que la serie es estacionaria en tendencia. Los supuestos en esta son similares a las anteriores, además, esta prueba complementa a las anteriores y permite investigar la posibilidad de encontrar que las series in fraccionalmente integrada, permitiendo llegar a conclusiones más robustas.

Por otro lado, la Prueba KPSS propuesta por Kwiatkowski et al. (1992), a diferencia de las dos anteriores, tiene como hipótesis nula que la serie es estacionaria en tendencia. Los supuestos en esta son similares a las anteriores, además, esta prueba complementa a las anteriores y permite investigar la posibilidad de encontrar que las series in fraccionalmente integrada, permitiendo llegar a conclusiones más robustas. Para poder estimar el VECM se tuvo que determinar el número óptimos de rezagos mediante el comando varsoc en el software Stata. Este comando nos permitió obtener los valores de los distintos criterios de información que nos sirvieron de guía para este proceso, entre estos se encuentran: Error de Predicción Final (FPE), los criterios de información de Akaike (AIC), Bayesiano de Schwarz (SBIC) y el de Hannan and Quinn (HQIC).

El siguiente paso fue realizar las pruebas de cointegración mediante el comando vecrank en Stata. Esto permitió obtener los estadísticos de traza, máximos valores propios y criterios de información para determinar el número óptimo de ecuaciones de cointegración (de ahora en adelante, rangos). Con los datos reportados por cada comando se procedió a realizar distintos modelos que diferían en el número de rezagos y en el número de ecuaciones de cointegración.

Con el fin de determinar la validez de cada modelo, se evaluó la existencia de autocorrelación mediante el multiplicador de Lagrange, normalidad en las perturbaciones mediante pruebas de normalidad de Jarque-Bera, Asimetría y de Curtosis y por último se evaluó la estabilidad de cada uno mediante el comando vecstable en Stata.

Una vez validados los modelos, se hizo uso del comando estimates stats en Stata para obtener estadísticas de selección de modelos como AIC y BIC con el fin de determinar cuál es el mejor modelo en términos de ajuste y simplicidad. Finalmente, con los modelos escogidos se procedió a realizar nuevamente las estimaciones, así como las Funciones de Impulso Respuesta (IRF) para cada uno.

2.2.2 Modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos (ARDL)

El modelo ARDL es una herramienta flexible para analizar relaciones entre variables en series temporales, debido a que puede aplicarse aun cuando las variables sean de diferentes órdenes de integración.

El modelo ARDL se relacionan directamente con la Curva Ambiental de Kuznets debido a que ambos se centran en analizar cómo cambian las variables económicas y ambientales a lo largo del tiempo. El ARDL, mediante pruebas de cointegración, puede validar si esa relación de largo plazo existe.

Los modelos se estimaron de la siguiente manera:

$$\Delta y_t = c_0 - \alpha(y_{t-1} - \theta x_{t-1}) + \sum_{i=1}^{p-1} \phi_{yi} \Delta y_{t-i} + \omega \Delta x_t + \sum_{i=1}^{q-1} \phi_{xi} \Delta x_{t-i} + u_t \quad (1)$$

Donde Y_t es el vector de la variable dependiente para cada modelo, α es la velocidad de ajuste $\alpha = 1 - \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i$, $(y_{t-1} - \theta x_{t-1})$ corresponde al ECM, θ corresponde a los coeficientes de largo plazo $\theta = \frac{\sum_{j=1}^q \beta_j}{\alpha}$, ϕ representan los coeficientes de corto plazo, $\omega = \beta_0$.

Por ello los 5 modelos para su posterior análisis se plantearon de la siguiente manera:

Modelo ARDL Huella

$$\begin{aligned}\Delta Huella_t = & \beta_0 + \beta_1 Huella_{t-1} + \beta_2 Pib_{t-1} + \beta_3 Pib^2_{t-1} + \beta_4 Ind_{t-1} + \beta_5 Agri_{t-1} + \\ & \beta_6 Serv_{t-1} + \beta_7 Com_{t-1} + \beta_8 Precio_{t-1} + \sum_{i=0}^p \alpha_i \Delta Huella_{t-i} + \sum_{j=0}^q \alpha_j \Delta Pib_{t-j} + \\ & \sum_{k=0}^r \alpha_k \Delta Pib^2_{t-k} + \sum_{l=0}^s \alpha_l \Delta Ind_{t-l} + \sum_{m=0}^t \alpha_m \Delta Agri_{t-m} + \sum_{n=0}^u \alpha_n \Delta Serv_{t-n} + \\ & \sum_{\bar{n}=0}^v \alpha_{\bar{n}} \Delta Com_{t-\bar{n}} + \sum_{e=0}^w \alpha_e \Delta Prec_{t-e} + u_t\end{aligned}$$

Modelo ADRL Invernadero

$$\begin{aligned}\Delta Inver_t = & \beta_0 + \beta_1 Inver_{t-1} + \beta_2 Pib_{t-1} + \beta_3 Pib^2_{t-1} + \beta_4 Ind_{t-1} + \beta_5 Agri_{t-1} + \\ & \beta_6 Serv_{t-1} + \beta_7 Com_{t-1} + \beta_8 Precio_{t-1} + \sum_{i=0}^p \alpha_i \Delta Inver_{t-i} + \sum_{j=0}^q \alpha_j \Delta Pib_{t-j} + \\ & \sum_{k=0}^r \alpha_k \Delta Pib^2_{t-k} + \sum_{l=0}^s \alpha_l \Delta Ind_{t-l} + \sum_{m=0}^t \alpha_m \Delta Agri_{t-m} + \sum_{n=0}^u \alpha_n \Delta Serv_{t-n} + \\ & \sum_{\bar{n}=0}^v \alpha_{\bar{n}} \Delta Com_{t-\bar{n}} + \sum_{e=0}^w \alpha_e \Delta Prec_{t-e} + u_t\end{aligned}$$

Modelo ARDL Aire

$$\begin{aligned}\Delta Aire_t = & \beta_0 + \beta_1 Aire_{t-1} + \beta_2 Pib_{t-1} + \beta_3 Pib^2_{t-1} + \beta_4 Ind_{t-1} + \beta_5 Agri_{t-1} + \beta_6 Serv_{t-1} + \\ & \beta_7 Com_{t-1} + \beta_8 Precio_{t-1} + \sum_{i=0}^p \alpha_i \Delta Aire_{t-i} + \sum_{j=0}^q \alpha_j \Delta Pib_{t-j} + \\ & \sum_{k=0}^r \alpha_k \Delta Pib^2_{t-k} + \sum_{l=0}^s \alpha_l \Delta Ind_{t-l} + \sum_{m=0}^t \alpha_m \Delta Agri_{t-m} + \sum_{n=0}^u \alpha_n \Delta Serv_{t-n} + \\ & \sum_{\bar{n}=0}^v \alpha_{\bar{n}} \Delta Com_{t-\bar{n}} + \sum_{e=0}^w \alpha_e \Delta Prec_{t-e} + u_t\end{aligned}$$

Modelo ADRL Energía

$$\begin{aligned}\Delta Energía_t = & \beta_0 + \beta_1 Energía_{t-1} + \beta_2 Pib_{t-1} + \beta_3 Pib^2_{t-1} + \beta_4 Ind_{t-1} + \beta_5 Agri_{t-1} + \\ & \beta_6 Serv_{t-1} + \beta_7 Com_{t-1} + \beta_8 Precio_{t-1} + \sum_{i=0}^p \alpha_i \Delta Energía_{t-i} + \sum_{j=0}^q \alpha_j \Delta Pib_{t-j} + \\ & \sum_{k=0}^r \alpha_k \Delta Pib^2_{t-k} + \sum_{l=0}^s \alpha_l \Delta Ind_{t-l} + \sum_{m=0}^t \alpha_m \Delta Agri_{t-m} + \sum_{n=0}^u \alpha_n \Delta Serv_{t-n} + \\ & \sum_{\bar{n}=0}^v \alpha_{\bar{n}} \Delta Com_{t-\bar{n}} + \sum_{e=0}^w \alpha_e \Delta Prec_{t-e} + u_t\end{aligned}$$

Modelo ADRL Recursos

$$\begin{aligned}\Delta ARN_t = & \beta_0 + \beta_1 ARN_{t-1} + \beta_2 Pib_{t-1} + \beta_3 Pib^2_{t-1} + \beta_4 Ind_{t-1} + \beta_5 Agri_{t-1} + \beta_6 Serv_{t-1} + \\ & \beta_7 Com_{t-1} + \beta_8 Precio_{t-1} + \sum_{i=0}^p \alpha_i \Delta ARN_{t-i} + \sum_{j=0}^q \alpha_j \Delta Pib_{t-j} + \\ & \sum_{k=0}^r \alpha_k \Delta Pib^2_{t-k} + \sum_{l=0}^s \alpha_l \Delta Ind_{t-l} + \sum_{m=0}^t \alpha_m \Delta Agri_{t-m} + \sum_{n=0}^u \alpha_n \Delta Serv_{t-n} + \\ & \sum_{\tilde{n}=0}^v \alpha_{\tilde{n}} \Delta Com_{t-\tilde{n}} + \sum_{e=0}^w \alpha_e \Delta Precio_{t-e} + u_t\end{aligned}$$

Donde:

- Huella: efectos de actividades económicas en la sostenibilidad ambiental, variable dependiente.
- Invernadero: gases, emitidos principalmente por el uso de combustibles fósiles, la industria y agricultura, variable dependiente.
- Aire: gases contaminantes del aire que pueden tener efectos perjudiciales tanto en la salud humana como para los ecosistemas, variable dependiente.
- Energía: consumo energético en Ecuador, considerando tanto fuentes de energía renovables como no renovables, variable dependiente.
- ARN: agotamiento de los recursos naturales, pérdida del valor económico por la extracción o explotación de los recursos naturales, esta variable está compuesta por el agotamiento neto de los bosques, de la energía y de los minerales.
- PIB: PIB per cápita.
- PIB²: PIB per cápita elevado al cuadrado.

Industria: Valor añadido en la industria manufacturera, la construcción, la minería y la explotación de canteras, y el suministro de gas, electricidad y agua.

- Agricultura: Valor añadido en la agricultura que hace referencia a la depreciación de los activos manufacturados como resultado del agotamiento y la degradación

de los recursos naturales, incluida la silvicultura, la caza y la pesca, así como la producción de cultivos y ganado.

- Servicios: El valor añadido de servicios incluyen los servicios gubernamentales, financieros, profesionales y personales, como la educación, sanidad y sector inmobiliario, comercio mayorista y minorista.
- Comercio: Total de productos y servicios importados y exportados.
- Precio: Precio promedio del petróleo crudo.
- ε : error.

Pesaran y Shin (1995), destacan que los modelos ARDL son ideales para analizar cointegración en series de tiempo que combinan variables I (0) e I (1), sin requerir que todas sean del mismo orden de integración. Dado que esto ya se verificó en los modelos VECM, en este apartado se obvia el análisis de estacionariedad en las series.

La validez de cada modelo se la realizó mediante la comprobación de varios componentes, de manera inicial se realizó la inclusión máxima de rezagos, posterior a ello se hizo un análisis de cointegración para validar la existencia de relación a largo plazo, es decir, si se cumple la condición de cointegración, por consiguiente, se realizó análisis de autocorrelación, estabilidad, homocedasticidad y normalidad, a través de comandos en STATA.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1 Análisis descriptivo de las variables de estudio

Cuando las variables representan valores positivos, como ingresos, precios o cantidades y están en distintas escalas, resulta útil transformarlas a su forma logarítmica, permitiendo una comparación entre las variables y una interpretación directamente de los coeficientes de los modelos econométricos como elasticidades (Stock & Watson, 2012). Por ello, dado que las variables del presente análisis se encuentran en diferentes escalas y unidades de medida, se optó por transformarlas en logaritmos naturales, con el fin de lograr una escala comparable entre las variables y una interpretación más clara en los modelos econométricos aplicados.

En la tabla 1, se presenta un resumen estadístico de las variables de estudio, destacando aspectos como la media ($\bar{x}$), desviación estándar (σ), percentiles, sesgo y curtosis. La variable Huella Ecológica tiene una media de 16,7 con un rango intercuartil, reflejando una distribución relativamente concentrada. En contraste, la variable Energía Primaria presenta una mayor dispersión con una desviación estándar de 1,0 y valores que oscilan entre el $P1 = 2,2$ y $P99 = 5,5$.

Un caso notable es la variable Recursos Naturales, que destaca por su alta curtosis (5,4) y mayor sesgo negativo (-1,3), indicando una distribución más asimétrica y con colas más pesadas. Asimismo, el PIB per cápita y las actividades de Industrias, Agricultura, Servicios, Comercio y Precio del Petróleo tienen distribuciones más simétricas y curtosis cercanas a 2, sugiriendo que siguen una forma aproximadamente normal.

Tabla 1. *Análisis de estadísticas descriptivas de las variables de estudio*

Variable	Obs*	$\bar{x}$ **	σ ***	Percentiles					Sesgo	Curtosis
				P1	P25	P50	P75	P99		
Huella Ecológica	62	16,7	0,5	15,7	16,3	16,8	17,1	17,3	-0,6	2,1
Gases Invernadero	63	18,2	0,3	17,5	18,1	18,3	18,4	18,7	-0,9	3,1
Contaminantes Aire	63	19,5	0,4	18,8	19,3	19,7	19,8	20,2	-0,7	2,5
Energía Primaria	59	4,2	1,0	2,2	3,4	4,6	5,0	5,5	-0,7	2,3
Recursos Naturales	52	25,7	1,4	21,2	25,3	25,8	26,8	27,7	-1,3	5,4
PIB per cápita	64	7,5	0,9	5,7	7,1	7,5	8,2	8,8	-0,3	2,1
Industrias	64	22,3	1,4	19,6	21,5	22,5	23,6	24,3	-0,4	2,1
Agricultura	64	21,7	0,8	20,1	21,3	21,9	22,4	22,9	-0,5	2,1
Servicios	64	22,9	1,4	20,2	22,1	23,0	24,1	25,0	-0,3	2,1
Comercio	64	22,7	1,7	19,6	21,8	22,8	24,3	25,0	-0,4	2,1
Precio Petróleo	64	3,3	0,9	1,7	2,9	3,3	4,0	4,6	-0,4	2,0

Nota. Todas las variables están en logaritmos naturales. *, ** y *** hacen referencia al número de observaciones, media aritmética y desviación estándar respectivamente.

3.2 Modelo de Vectores de Corrección de Errores

La estacionariedad de cada serie es presentada en la Tabla 2. La prueba DF-MCG indica que las series son I (1). La prueba Phillips-Perrón indica que la hipótesis nula de raíz unitaria puede ser rechazada en todas las series en primeras diferencias. La prueba KPSS indica que la hipótesis nula de estacionariedad se rechaza para todas las series en niveles, pero no en primeras diferencias. En general, las pruebas evidencian que las series son integradas de orden uno.

Para determinar el número de rezago para cada modelo se usó el comando *varsoc* en Stata (véase apéndice B). La Tabla 3, indica que los criterios de información HQ y BIC reportan que un rezago es el óptimo en todos los modelos, AIC reporta cuatro rezagos para el modelo Huella, Energía y Recursos y FPE reporta cuatro rezagos en el modelo Energía y Recursos.

Para identificar cointegración y determinar si es necesario implementar un VECM, se realizó la prueba Johansen (véase apéndice C). La Tabla indica que, si existe cointegración, pero el número de rangos llega a ser distinto en todos los casos.

Tabla 2. Prueba de raíz unitaria

Variable	Prueba DF-GLS		Prueba Phillips- Perron	Prueba KPSS
	Rezagos+	Estadístico t	Estadístico Z(t)	Estadístico para H0: Estacionaria en tendencia. ++
<i>En niveles</i>				
Huella Ecológica	2	-0,693	-1,229	0,329***
Gases Invernadero	1	-2,883*	-2,642	0,235***
Contaminantes Aire	1	-0,652	-1,030	0,385***
Energía Primaria	1	-0,347	-1,607	0,368***
Recursos Naturales	1	-2,449	-3,583**	0,117
PIB per cápita	1	-2,764	-2,107	0,127*
Industrias	1	-1,767	-1,781	0,165**
Agricultura	1	-2,465	-1,944	0,209**
Servicios	1	-2,802	-1,993	0,146**
Comercio	1	-2,031	-1,729	0,205**
Precio Petróleo	1	-2,467	-2,240	0,112
<i>En primeras diferencias</i>				
Huella Ecológica	1	-6,9707***	-8,779***	0,048
Gases Invernadero	4	-3,871***	-10,025***	0,094
Contaminantes Aire	1	-4,420***	-6,606***	0,103
Energía Primaria	1	-5,632***	-8,356***	0,107
Recursos Naturales	1	-5,254***	-5,792***	0,112
PIB per cápita	1	-3,691**	-5,263***	0,059
Industrias	1	-3,629**	-6,775***	0,060
Agricultura	1	-3,546**	-5,316***	0,061
Servicios	1	-3,932***	-5,087***	0,059
Comercio	1	-3,986***	-6,731***	0,056
Precio Petróleo	1	-5,417***	-7,812***	0,058

Nota: Todas las variables están en logaritmos. +Número de rezagos elegidos utilizando el criterio de información de Schwarz (SIC). El numero alternativo de rezagos para la prueba DF-GLS tienden a dar las mismas respuestas estadísticas (Ver anexo X). ++ 3 es el máximo rezago elegido por el criterio de Schwert para la prueba de KPSS. *, ** y *** indican el nivel de significancia al 10%, 5% y 1% respectivamente de la hipótesis nula de raíz unitaria (DF-GLS y Phillips-Perrón) o estacionariedad de la serie (KPSS)

Tabla 3. *Numero óptimo de rezagos para cada modelo*

Modelos	FPE	AIC	HQIC	SBIC
Huella Ecológica	1	4	1	1
Gases Invernadero	1	1	1	1
Contaminantes Aire	1	1	1	1
Energía Primaria	4	4	1	1
Recursos Naturales	4	4	1	1

Nota: Elaboración propia en base a los datos obtenidos a través del *software* Stata.

Tabla 4. *Numero de rangos dados por la prueba de cointegración de Johansen*

Modelos	Prueba de traza		Prueba de valores propios		SBIC	HQIC
	5%	1%	5%	1%		
<i>Un rezago</i>						
Huella Ecológica	3	2	2	1	0	4
Gases Invernadero	3	3	1	1	0	4
Contaminantes Aire	2	2	1	1	1	4
Energía Primaria	3	2	2	2	2	4
Recursos Naturales	4	3	3	2	2	6
<i>Cuatro rezagos</i>						
Huella Ecológica	4	3	4	1	4	4
Energía Primaria	indef*	5	4	3	6	6
Recursos Naturales	indef*	4	3	3	3	6

Nota: Elaboración propia en base a los datos obtenidos a través del *software* Stata. * El número de rango no pudo ser identificado, no hay valores críticos mayores al estadístico.

Dado que los resultados son variados en rezagos y rangos, se modeló distintos VECM con el fin de realizar pruebas de validación para cada modelo y descartar aquellos que no lo cumplan. Para esto, se realizaron pruebas de autocorrelación, normalidad y estabilidad.

Los resultados de la prueba de autocorrelación figuran en la tabla 5. De los modelos con un rezago, el modelo Aire con un rango presenta autocorrelación, así como todos los modelos de Energía y Recursos. En los modelos de cuatro rezagos, solo los modelos Huella, Energía con cinco rangos, y Recursos con tres y cuatro rangos no presentan problemas de autocorrelación.

Tabla 5. Pruebas de Multiplicador de Lagrange para autocorrelación

Modelos	Rangos	Rezagos			
		1	2	3	4
<i>Modelos con un rezago</i>					
Modelo Huella	1	0,223	0,506	0,122	0,289
Modelo Huella	2	0,232	0,767	0,152	0,545
Modelo Huella	3	0,255	0,526	0,214	0,830
Modelo Huella	4	0,245	0,293	0,102	0,719
Modelo Invernadero	1	0,795	0,180	0,397	0,485
Modelo Invernadero	3	0,438	0,391	0,311	0,532
Modelo Invernadero	4	0,556	0,381	0,139	0,681
Modelo Aire	1	0,609	0,088*	0,371	0,907
Modelo Aire	2	0,324	0,356	0,256	0,963
Modelo Aire	4	0,412	0,215	0,312	0,950
Modelo Energía	2	0,010**	0,122	0,123	0,921
Modelo Energía	3	0,035**	0,121	0,196	0,832
Modelo Energía	4	0,030**	0,474	0,121	0,863
Modelo Recursos	2	0,020**	0,522	0,005***	0,032**
Modelo Recursos	3	0,006***	0,250	0,042	0,077
Modelo Recursos	4	0,043**	0,521	0,030**	0,012**
Modelo Recursos	6	0,063*	0,450	0,019**	0,003****
<i>Modelos con cuatro rezagos</i>					
Modelo Huella	1	0,925	0,360	0,703	0,850
Modelo Huella	3	0,301	0,170	0,570	0,822
Modelo Huella	4	0,322	0,533	0,581	0,456
Modelo Energía	3	0,840	0,072*	0,356	0,418
Modelo Energía	4	0,698	0,075*	0,110	0,211
Modelo Energía	5	0,293	0,134	0,148	0,192
Modelo Energía	6	0,103	0,069*	0,063*	0,162
Modelo Recursos	3	0,613	0,141	0,1642	0,765
Modelo Recursos	4	0,573	0,113	0,2918	0,710
Modelo Recursos	6	0,208	0,003***	0,2093	0,266

Nota: Elaboración propia en base a los datos obtenidos a través del *software* Stata.
 *, ** y *** indican el nivel de significancia al 10%, 5% y 1% respectivamente del rechazo de la hipótesis nula de no autocorrelación en rezago correspondiente.

Tabla 6. Prueba de normalidad en las perturbaciones

Modelos	Rangos	Test de Normalidad		
		Jarque-Bera	Sesgo	Curtosis
<i>Modelos con un rezago</i>				
Modelo Huella	1	0,000***	0,039**	0,002***
Modelo Huella	2	0,000***	0,000***	0,000***
Modelo Huella	3	0,000***	0,002***	0,002***
Modelo Huella	4	0,006***	0,032**	0,031**
Modelo Invernadero	1	0,080*	0,229	0,084*
Modelo Invernadero	3	0,003***	0,006***	0,073*
Modelo Invernadero	4	0,000***	0,003***	0,001***
Modelo Aire	1	0,000***	0,028**	0,000***
Modelo Aire	2	0,000***	0,002***	0,000***
Modelo Aire	4	0,000***	0,048**	0,000***
Modelo Energía	2	0,000***	0,001***	0,000***
Modelo Energía	3	0,000***	0,013**	0,002***
Modelo Energía	4	0,000***	0,023**	0,005***
Modelo Recursos	2	0,726	0,460	0,805
Modelo Recursos	3	0,727	0,633	0,629
Modelo Recursos	4	0,527	0,415	0,556
Modelo Recursos	6	0,580	0,470	0,573
<i>Modelos con cuatro rezagos</i>				
Modelo Huella	1	0,100	0,484	0,042**
Modelo Huella	3	0,607	0,318	0,800
Modelo Huella	4	0,569	0,595	0,436
Modelo Energía	3	0,945	0,721	0,947
Modelo Energía	4	0,808	0,388	0,963
Modelo Energía	5	0,711	0,468	0,774
Modelo Energía	6	0,475	0,302	0,622
Modelo Recursos	3	0,451	0,708	0,226
Modelo Recursos	4	0,448	0,505	0,358
Modelo Recursos	6	0,650	0,708	0,445

Nota. Elaboración propia. *, ** y *** indican el nivel de significancia al 10%, 5% y 1% respectivamente del rechazo de la hipótesis nula de que las perturbaciones en el modelo se distribuyen normalmente. La tabla presenta valores p de las ecuaciones en conjunto de cada modelo.

En cuanto a normalidad, la tabla 6 presenta los resultados obtenidos. Para los modelos de un rezago, solo los modelos Recursos no rechazan la hipótesis nula de normalidad y de que tengan una asimetría y curtosis consistente con la distribución normal. De los modelos con

cuatro rezagos, únicamente el modelo Huella con un rango rechaza la hipótesis nula en todos los casos. Por el lado de estabilidad, de los modelos de un rezago, solo el modelo Recursos con seis rangos no es estable y, de modelos con cuatro rezagos, los modelos Energía con cuatro, cinco y seis rangos, así como los modelos de Recursos con cuatro y seis rangos, presentan módulos unitarios cercanos a uno (véase apéndice D).

Después de todo este proceso, solo los modelos Huella con tres y cuatro rangos, así como el modelo Recursos con tres rangos, todos con 4 rezagos, cumplen simultáneamente con las condiciones de validez y estabilidad. Como el modelo Huella tiene dos posibles modelos, se hizo uso de los criterios de información para determinar cuál de los dos es mejor, donde el modelo Huella con cuatro rangos fue el elegido.

Tabla 7. *Estimaciones del Vector de Corrección de Errores – Ecuaciones de Cointegración*

	Huella	Recursos
PIB per cápita	0	0
Industrias	0	0
Agricultura	0	-0,966
Servicios	-0,943***	4,901***
Comercio	1,186***	-3,244***
Precio	0,168**	-1,224**

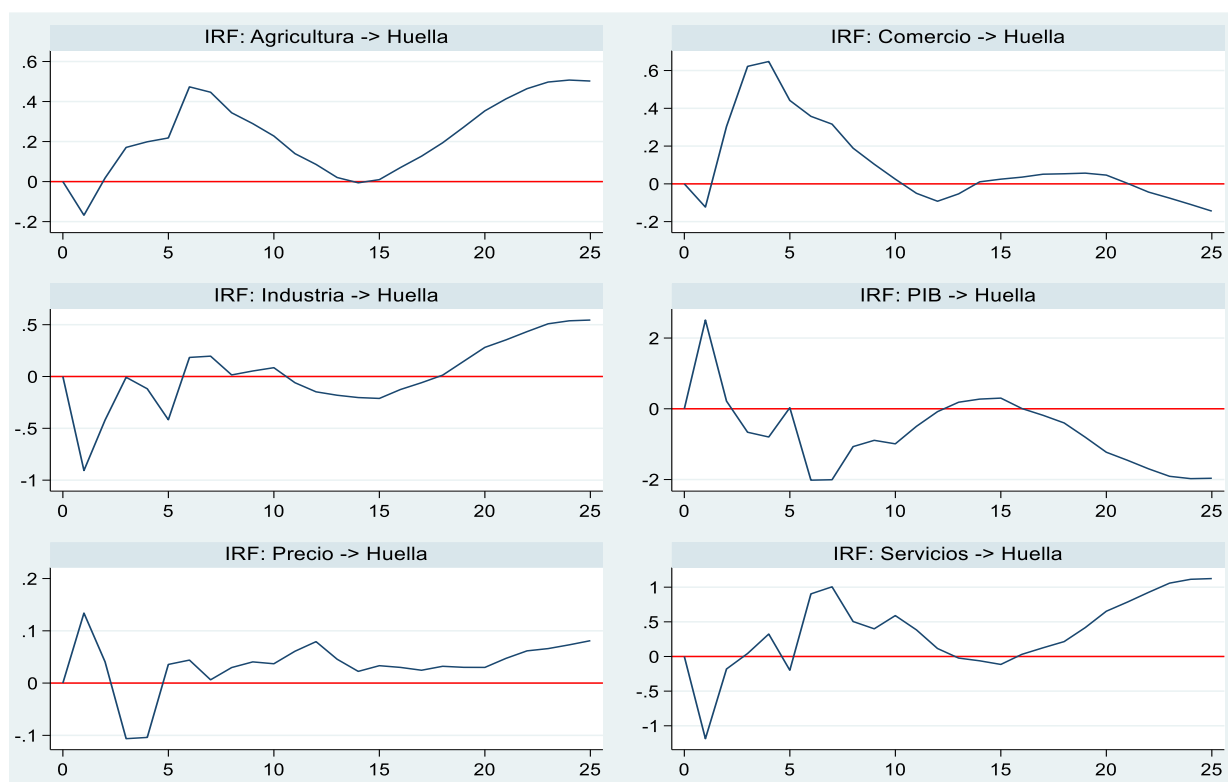
Nota. Elaboración propia en base a los resultados obtenidos a través del *software* de Stata. *, ** y *** indican el nivel de significancia de las variables en modelo de largo plazo al 10%, 5% y 1% respectivamente

Con los dos modelos seleccionados, se procedió a obtener las estimaciones de largo plazo y sus respectivas IRF. La tabla 7 muestra las estimaciones de largo plazo para los modelos Huella y Recursos. En el modelo de Huella, se identifican relaciones positivas con los sectores Servicios (0,94%), Comercio (1,19%) y Precio del Petróleo (0,17%), indicando que un incremento en estas variables del 1% genera un aumento proporcional en la huella ecológica. Por

otro lado, en el modelo de Recursos, el crecimiento del 1% en el sector servicios incrementa en 4.90% el agotamiento de los recursos naturales, sin embargo, crecimientos del 1% en el comercio (-3.24%) y en el precio del petróleo (1,22%) contribuyen a una reducción en el agotamiento de los recursos naturales.

La Figura 1 muestra como shocks en las variables explicativas tiene efectos permanentes en la huella ecológica. De manera específica, la agricultura tiene efectos positivo en los primeros y últimos años sobre la huella ecológica, comercio tiene un efecto positivo los primeros cinco años para luego pasa a tener efectos negativos, la industria provoca efectos negativos en los primeros quince años que luego se vuelven positivos, el PIB per cápita ocasiona efectos positivos inicialmente para luego converger en un valor negativo, el precio del petróleo y el sector servicios tienen inicialmente efectos negativos que luego convergen a un valor positivo.

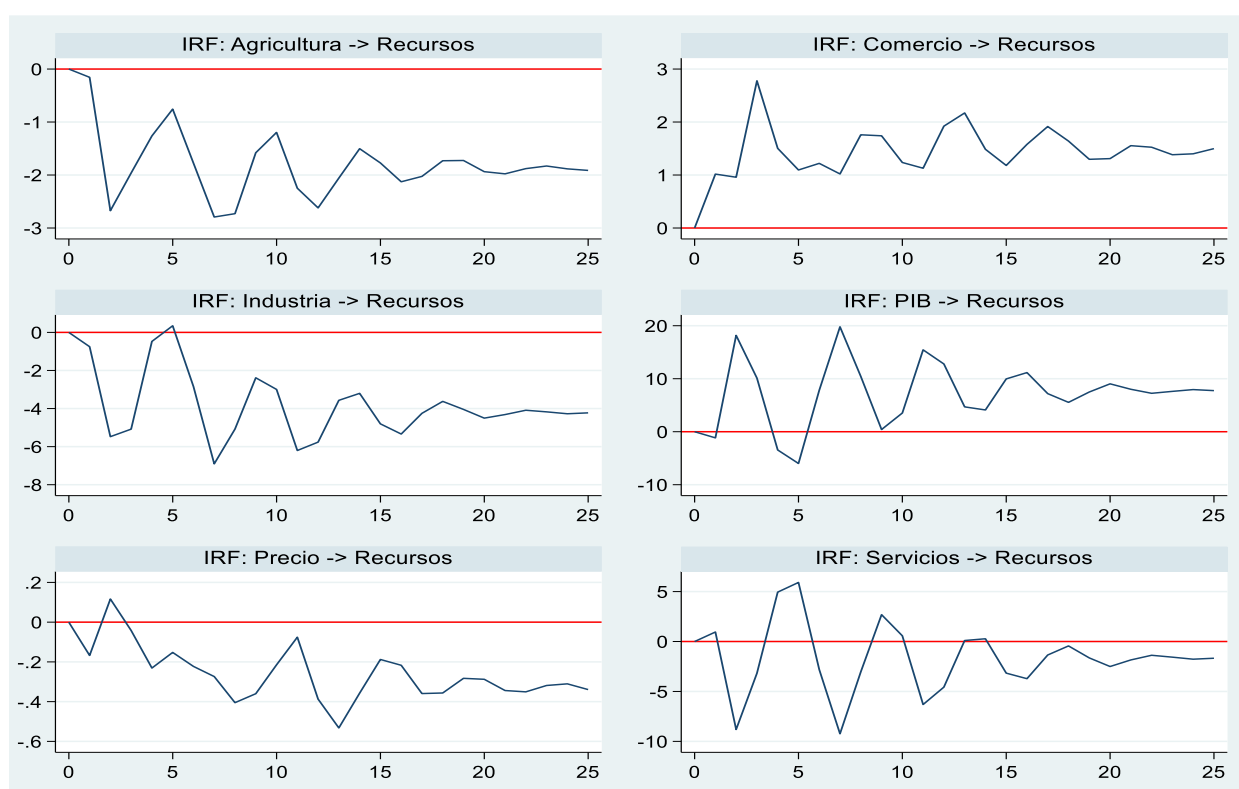
Figura 1. Funciones Impulso-Respuesta - Modelo Huella Ecológica



Nota. IRF basadas del VECM. Respuesta: Huella Ecológica, Impulsos: Variables explicativas.

La figura 2 revela que los shocks en las variables explicativas también tienen efectos permanentes, pero ahora en el agotamiento de los recursos naturales. Concretamente, una innovación tanto en la agricultura, en la industria, en el precio del petróleo y en servicios tienen efectos negativos que convergen a una asíntota negativa. Para shocks en el comercio y PIB per cápita sus efectos oscilan entre valores positivos y negativos, pero en el largo plazo convergen a un valor positivo.

Figura 2. *Funciones Impulso-Respuesta - Modelo Agotamiento de Recursos Naturales*



Nota. IRF basadas del VECM. Respuesta: Agotamiento de los Recursos Naturales, Impulsos: Variables explicativas.

3.3 Modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos

Para la implementación del modelo ARDL, es necesario determinar el número de rezagos óptimo para cada variable en nuestro modelo, de igual manera, diagnosticar la existencia de una relación de cointegración entre las variables mediante la prueba de límites Pesaran, Shin y Smith (2001), así como también la validez y estabilidad en el modelo.

Comenzando con la obtención del número de rezagos óptimos, se hizo una combinación de distintos números de rezagos para cada variable y se seleccionó al modelo con el menor criterio de información Bayesiano, se usa este criterio debido a que la muestra en cada modelo es pequeña y se busca un enfoque parsimonioso. El modelo óptimo escogido según el BIC para el modelo Huella fue un modelo ARDL (1, 3, 1, 0, 0, 0, 0, 0), para los modelos Invernadero y Aire fue un modelo ARDL (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0), para el modelo Energía fue un modelo ARDL (1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0) y para el modelo Recursos fue un modelo ARDL (3, 1, 1, 2, 1, 1, 0, 0) (véase apéndice E).

Una vez seleccionado los modelos con los rezagos óptimos para cada variable, se procedió a realizar la prueba de límites, para esto se hizo uso del comando *estat ectest* en Stata después de correr cada modelo ARDL, véase Tabla 8. Según Pesaran, Shin y Smith (2001), para rechazar la hipótesis nula de ausencia de relación de largo plazo entre las variables (no cointegración), los valores absolutos de ambos estadísticos F y t deben ser mayores que los valores críticos superiores o, de manera equivalente, los valores p asociados deben ser menores que los niveles de significancia deseados.

En este sentido, para el modelo Huella a un nivel de significancia del 1% y 5% la prueba es inconclusa, mientras que para un nivel de significancia del 10% la hipótesis nula si puede ser rechazada. Para el modelo Invernadero, a un nivel de significancia del 1% la prueba es inconclusa, mientras que para un nivel del 5% y 10%, la prueba si puede ser rechazada. Por otro lado, para el modelo Aire y el modelo Energía, en todos los casos la prueba no puede ser rechazada. Finalmente, para el modelo Recursos, en todos los casos la prueba puede ser rechazada.

Tabla 8. Prueba de límites - Cointegración de las series

Modelos	Estadísticos de Prueba	Valores críticos							Valores p	
		10%		5%		1%				
		I (0)	I (1)	I (0)	I (1)	I (0)	I (1)	I (0)	I (1)	
Huella*	F	4,295	2,164	3,421	2,549	3,940	3,435	5,122	0,002	0,031
	t	-4,421	-2,509	-4,160	-2,850	-4,570	-3,533	-5,383	0,001	0,065
Invernadero**	F	4,622	2,187	3,391	2,569	3,893	3,446	5,028	0,001	0,018
	t	-5,504	-2,543	-4,210	-2,877	-4,609	-3,545	-5,397	0,000	0,008
Aire	F	2,251	2,187	3,391	2,569	3,893	3,446	5,028	0,089	0,405
	t	-1,316	-2,543	-4,210	-2,877	-4,609	-3,545	-5,397	0,563	0,934
Energía	F	6,129	2,182	3,436	2,573	3,963	3,479	5,171	0,000	0,003
	t	-1,890	-2,515	-4,167	-2,858	-4,580	-3,544	-5,401	0,281	0,804
Recursos***	F	30,142	2,180	3,542	2,597	4,131	3,583	5,515	0,000	0,000
	t	-10,652	-2,460	-4,087	-2,821	-4,530	-3,551	-5,426	0,000	0,000

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos del software Stata. Valores críticos de Kripfganz y Schneider (2020). *, ** y *** indican el nivel de significancia al 10%, 5% y 1% respectivamente del rechazo de la hipótesis nula de no relación de nivel.

Dado que, de los cinco modelos, solo los modelos Huella, Invernadero y Recursos, rechazan la hipótesis nula de no cointegración, a partir de ahora solo se trabajarán con estos modelos. Para conocer su validez, es necesario realizar pruebas de autocorrelación, homocedasticidad y normalidad. La tabla 9 indica que, en cuanto a la autocorrelación, únicamente el modelo Recursos posee correlación serial en su cuarto rezago. En cuanto a la homocedasticidad de los modelos, los valores p muestran que no hay evidencia estadística suficiente que permita rechazar la hipótesis nula de homocedasticidad. Mientras que, en la prueba de normalidad de todos los modelos los valores p indican que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de que el sesgo y curtosis sea consistente a una distribución normal.

Tabla 9. Autocorrelación, Homocedasticidad y Normalidad

Modelos	Autocorrelación			Homocedasticidad	Normalidad	
	1+	2++	3+++		Sesgo	Curtosis
Huella	0,694	0,324	0,391	0,439	0,234	0,650
Invernadero	0,966	0,943	0,971	0,377	0,268	0,181
Recursos	0,183	0,348	0,276	0,433	0,487	0,980

Nota. Elaboración propia en base a los resultados obtenidos del software Stata. +, ++, +++ y +++ son los números de rezagos correspondientes para la prueba de autocorrelación. *, ** y *** indican el nivel de significancia al 10%, 5% y 1% respectivamente del rechazo de la hipótesis nula de que no existen autocorrelación serial, existe homocedasticidad y de que las perturbaciones poseen un sesgo y curtosis consistente a una distribución normal, respectivamente.

Para determinar la estabilidad estructural del modelo se hizo uso de dos análisis distintos, el análisis Recursivo que usa residuos estandarizados, lo que permite considerar la variabilidad de los errores en el análisis, y el análisis OLS que usa los residuos originales de mínimos cuadrados, más adecuado bajo la suposición de homocedasticidad; aunque estos análisis usen distintos residuos, la interpretación y objetivos de ambas es la misma. Por consiguiente, en la tabla 10, se puede observar que, en todos los casos, no es posible rechazar la hipótesis nula de estabilidad estructural, dado que todos los estadísticos de prueba son menores a los valores críticos asociados.

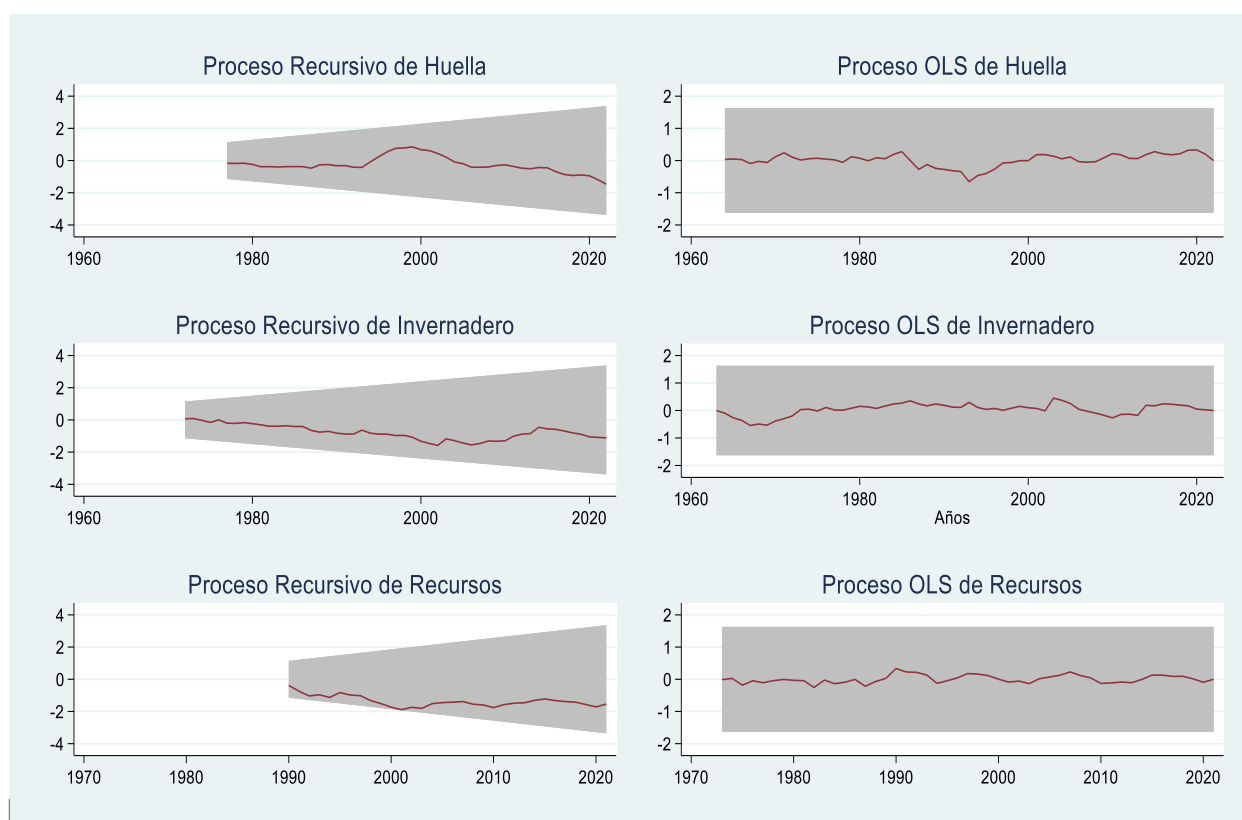
Tabla 10. Estabilidad de los modelos

Modelos	Tipo	Estadístico de prueba	Valores críticos		
			1%	5%	10%
Huella	Recursivo	0,488	1,143	0,948	0,850
	OLS	0,657	1,628	1,358	1,224
Invernadero	Recursivo	0,714	1,143	0,948	0,850
	OLS	0,545	1,628	1,358	1,224
Recursos	Recursivo	1,079	1,143	0,948	0,850
	OLS	0,335	1,628	1,358	1,224

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos de Stata. Recursivo *, ** y *** indican el nivel de significancia al 10%, 5% y 1% respectivamente del rechazo de la hipótesis nula de que los parámetros son estables o constantes a través del tiempo.

Estos resultados son confirmados por la Figura 3, en donde en todos los modelos, la gráfica mediante el proceso Recursivo no cruza las bandas de confianza al 99%, lo que implica que el modelo es estable. Esto mismo ocurre en las gráficas de los procesos OLS donde la gráfica no cruza las bandas de confianza al 99%, indicando que el modelo es estable en todos los casos.

Figura 3. Gráficos de estabilidad de los modelos



Nota. Todos los gráficos están bajo bandas de confianza del 99%, área gris.

La tabla 11 muestra que el 48.61% del desequilibrio en la Huella Ecológica se corrige en el siguiente período, confirmando una relación de largo plazo. A largo plazo, el PIB y el Comercio son significativos al 10%, aumentando la Huella Ecológica, mientras que el PIB2 sugiere un efecto cuadrático coherente con la Curva Ambiental de Kuznets (CAK). En el corto plazo, el PIB reduce la Huella Ecológica, y los efectos no lineales del PIB también son relevantes.

Tabla 11. *Estimaciones del modelo ARDL Huella*

Variable dependiente del modelo: Huella Ecológica			
Variable	Coeficiente	Sd	Estadístico t
<i>Largo plazo</i>			
PIB_t	1,878*	0,979	1,919
PIB_t^2	-0,095**	0,035	-2,669
$Industria_t$	-0,203	0,340	-0,597
$Agricultura_t$	-0,042	0,148	-0,282
$Servicios_t$	-0,222	0,349	-0,637
$Comercio_t$	0,491*	0,254	1,933
$Precio_t$	-0,169	0,106	-1,595
<i>Corto plazo</i>			
ECT_{t-1}	-0,486***	0,110	-4,421
ΔPIB_t	-1,737**	0,749	-2,317
ΔPIB_{t-1}	-0,050	0,080	-0,628
ΔPIB_{t-2}	-0,167**	0,067	-2,502
ΔPIB_t^2	0,124**	0,051	2,419
Constante	3,889	2,388	1,628

Nota. Todas las variables están en logaritmos. Sd es la desviación estándar de cada coeficiente y ECT es el valor de ajuste del modelo. *, ** y *** indican el nivel de significancia del 10%, 5% y 1% respectivamente.

La Tabla 12 indica que el 71.85% del desequilibrio en los Gases de Invernadero se corrige en el siguiente período, confirmando una relación de largo plazo. El PIB tiene un efecto positivo, mientras que el PIB^2 muestra un efecto cuadrático negativo, consistente con la Curva Ambiental de Kuznets (CAK). En el corto plazo, la constante del modelo es significativa, reflejando un nivel base de emisiones.

Tabla 12. *Estimaciones del modelo ARDL Invernadero*

Variable dependiente: Gases de Efecto Invernadero			
Variable	Coeficiente	Sd	Estadístico t
<i>Largo plazo</i>			
PIB_t	3,289***	1,025	3,210
PIB_t^2	-0,174***	0,046	-3,827
$Industria_t$	-0,077	0,344	-0,223
$Agricultura_t$	0,261	0,166	1,575
$Servicios_t$	-0,540	0,359	-1,506
$Comercio_t$	0,047	0,256	0,184
$Precio_t$	0,147	0,128	1,151
<i>Corto plazo</i>			
ECT_{t-1}	-0,718***	0,131	-5,504
Constante	3,889**	2,388	1,628

Nota. Todas las variables están en logaritmos. Sd es la desviación estándar de cada coeficiente y ECT es el valor de ajuste del modelo. *, ** y *** indican el nivel de significancia del 10%, 5% y 1% respectivamente.

La Tabla 13 muestra que el modelo corrige más del 100% de los desequilibrios en un período, confirmando una relación de largo plazo. El PIB tiene un impacto positivo sobre los recursos naturales, mientras que su término cuadrático es negativo, consistente con la Curva Ambiental de Kuznets. El agotamiento de los recursos naturales a largo plazo también se ven afectados positivamente por la industria y los precios del petróleo. En el corto plazo, los rezagos de la variable dependiente, cambios en el PIB y la agricultura tienen efectos significativos.

Tabla 13. *Estimaciones del modelo ARDL Recursos*

Variable dependiente: Agotamiento de Recursos Naturales			
Variable	Coeficiente	Sd	Estadístico t
<i>Largo plazo</i>			
PIB_t	4,191***	1,178	3,559
PIB_t^2	-0,284***	0,058	-4,931
$Industria_t$	1,169***	0,347	3,366
$Agricultura_t$	0,131	0,139	0,943
$Servicios_t$	-0,726***	0,259	-2,807
$Comercio_t$	0,430*	0,229	1,879
$Precio_t$	0,482***	0,113	4,274
<i>Corto plazo</i>			
ECT_{t-1}	-1,448***	0,136	-10,652
$\Delta Recursos_{t-1}$	0,580***	0,103	5,623
$\Delta Recursos_{t-2}$	0,193**	0,074	2,601
ΔPIB_t	-23,279***	4,677	-4,978
ΔPIB_t^2	1,011***	0,183	5,528
$\Delta Industria_t$	1,303	0,868	1,502
$\Delta Industria_{t-1}$	-0,850***	0,236	-3,604
$\Delta Agricultura_t$	1,259**	0,466	2,703
$\Delta Servicios_t$	4,681**	1,772	2,642
Constante	-20,026**	7,373	-2,716

Nota. Todas las variables están en logaritmos. Sd es la desviación estándar de cada coeficiente y ECT es el valor de ajuste del modelo. *, ** y *** indican el nivel de significancia del 10%, 5% y 1% respectivamente.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos por los modelos VEC indican que el sector servicios, comercio y el precio del petróleo son determinantes clave en los patrones de impacto ambiental en Ecuador, el crecimiento en estos sectores tiene un impacto significativo en la huella ecológica y el agotamiento de recursos naturales.

En relación con el PIB per cápita, un shock en esta variable provoca un efecto inicial positivo sobre la Huella Ecológica, lo que refleja una mayor presión ambiental. Sin embargo, a largo plazo, este impacto converge hacia un efecto negativo, lo que podría indicar un cambio progresivo hacia prácticas más sostenibles. Un comportamiento similar se observó en el Comercio, mientras que las variables de Agricultura, Industria, Servicios y el Precio del Petróleo presentan patrones contrarios.

En el caso del Agotamiento de los Recursos Naturales, shocks en Agricultura, Industria y Precio del Petróleo tienen un impacto inicial negativo que se mantiene en el largo plazo, mientras que shocks en el PIB per cápita y Comercio tienen efectos opuestos. Este hallazgo resalta la complejidad de las interacciones sectoriales y su relevancia para el diseño de políticas sectoriales.

Adicionalmente, los resultados revelan la presencia de efectos no lineales en las variables ambientales debido a shocks en las variables explicativas. Aunque se observan indicios de reducción del impacto ambiental en ciertos sectores, no se identifica un punto de inflexión claro en todos los casos. Particularmente, en el agotamiento de los recursos naturales no se encuentra evidencia robusta de que las actividades económicas de Ecuador sigan un patrón de U invertida, lo que sugiere que el país aún no ha alcanzado plenamente el cumplimiento de la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK).

Por otro lado, los resultados obtenidos a través de los modelos ARDL indican que, a largo plazo, la relación entre las variables de degradación ambiental, como Huella Ecológica, Gases de Efecto Invernadero y Agotamiento de los Recursos Naturales, y el PIB per cápita sigue una forma cuadrática consistente con la CAK.

Los resultados sugieren que Ecuador se encuentra en una etapa temprana del cumplimiento de la CAK, dado que la presencia de la CAK no es evidente en el corto plazo en todos los casos. Aunque existen indicios de un punto de inflexión en las variables de impacto ambiental, la magnitud de los impactos a largo plazo dependerá de políticas ambientales más estrictas y de la promoción de tecnologías limpias.

En el largo plazo, el Comercio aumentan la Huella Ecológica, Industria aumenta el Agotamiento de los Recursos Naturales y Servicios la disminuyen. Estos hallazgos destacan la necesidad de estrategias diferenciadas para mitigar los efectos ambientales de cada sector económico.

Los resultados obtenidos con el modelo VAR confirman parcialmente los hallazgos de Rentería et al. (2016), Vizuite (2023) y Ruiz et al. (2024), pues si bien es cierto la CAK se cumple con la variable de degradación ambiental Huella Ecológica, esto no es cierto en el caso del Agotamiento de los Recursos Naturales. Por otro lado, los resultados revelados por el modelo ARDL van en línea con lo encontrado por Zambrano et al. (2016), Robalino et al. (2014), Borja et al. (2024) y Molero et al. (2021), en donde la CAK no se evidencia en el corto plazo pero si en el largo plazo. Esto destaca la necesidad de considerar múltiples indicadores ambientales para una evaluación más integral del impacto ambiental, además de una comparación entre distintas metodologías para una robustez en el análisis.

4.1.2 Recomendaciones

Finalmente, con base a las limitaciones en esta investigación se plantearon las recomendaciones para futuras investigaciones:

- Ajustar los modelos econométricos presentados en esta investigación para llevar a cabo un análisis más detallado y robusto que permita comparar, de forma más integral, las distintas variables de degradación ambiental.
- Incluir variables adicionales como indicadores de políticas ambientales, impuestos al carbono, normativas ambientales, gastos en investigación y desarrollo en tecnologías sostenibles o inversiones en tecnologías limpias.
- Realizar simulaciones basadas en escenarios futuros de crecimiento económico, considerando diferentes configuraciones de políticas y normativas ambientales. Los escenarios incluirán supuestos sobre la adopción de tecnologías limpias, la implementación o eliminación de impuestos al carbono o regulaciones ambientales. Estas simulaciones permitirán evaluar el impacto potencial de diversas estrategias en las variables ambientales y en el crecimiento económico, proporcionando insumos valiosos para la formulación de políticas públicas sostenibles.
- Por último, incorporar un análisis desagregado a nivel regional dentro del Ecuador. Esto permitirá identificar diferencias significativas en las relaciones entre el crecimiento económico y las variables de degradación ambiental, considerando características particulares como la estructura económica, el nivel de urbanización, la densidad poblacional, y los niveles de implementación de políticas ambientales en cada región.

Referencias

- Almeida, S. M. (2016). *Política fiscal ambiental en el Ecuador: avances y desafíos*. Repositorio Digital CEPAL. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11362/40365>
- Banco Mundial. (2024). *Indicadores de desarrollo mundial*. Obtenido de <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>
- Borja, P. J., Robalino, L. A., & Mena, N. A. (2024). Breaking the unsustainable paradigm: exploring the relationship between energy consumption, economic development and carbon dioxide emissions in Ecuador. *Sustain Sci*, 19, 403–421. doi:<https://doi.org/10.1007/s11625-023-01425-x>
- Correa, R. F. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: evidencia empírica para Colombia. *Semestre Económico*, 8(15), 13-30. Obtenido de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1104>
- Díaz, V. M. (2011). *Economía, medio ambiente y desarrollo sostenible. Perspectivas conceptuales y analíticas*. Editorial Académica Española.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Elliott, G., Rothenberg, T. J., & Stock, J. H. (1996). Efficient Tests for an Autoregressive Unit Root. *Econometrica*, 64, 813-836. doi:<https://doi.org/10.2307/2171846>
- Falconí, F., Burbano, R., & Cango, P. (2016). La discutible curva de Kuznets. *Documentos de Trabajo FLACSO Ecuador*. Obtenido de https://www.flacsoandes.edu.ec/sites/default/files/%25f/agora/files/la_discutible_curva_de_kuznets.pdf
- Freire. Noriega, E. A. (2021). El crecimiento económico y el impacto ambiental a través de la curva de Kuznets en el Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. *Repositoria Institucional UTA*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33387>
- Gómez, S. C., Cerquera, L. Ó., & Acero, C. E. (2021). La curva medioambiental de Kuznets y el crecimiento económico sostenible en Colombia. *Apuntes Del Cenes*, 40(71), 165-188. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7893549>
- Granda, C., Pérez, L. G., & Muñoz, J. C. (2008). La curva medioambiental de Kuznets para la calidad del agua: Un análisis de su idoneidad mediante pruebas de raíz unitaria y de cointegración. *Lecturas de Economía*(69), 221-244. doi:<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1277527>

- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economics Research Working Paper, No. 3194*. NBER, Cambridge. doi:<https://doi.org/10.3386/w3914>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1 de 05 de 1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2). doi:<https://doi.org/10.2307/2118443>
- Grupo del Banco Mundial. (2024). *Mercados de materias primas*. Obtenido de <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *Módulo de Información Económica Ambiental en Empresas*. Boletín Técnico, Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas_2021/BOL_TEC_MOD_AMB_EMP_ENESEM_2021_04.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2022). *Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels in context of strengthening response to Climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. doi:<https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- Kripfganz, S., & Schneider, D. C. (2023). ardl: Estimating autoregressive distributed lag and equilibrium correction models. *The Stata Journal*, 23(4), 983-1019. doi:<https://doi.org/10.1177/1536867X231212434>
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. ., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics*, 54, 159-178.
- Macas, L. G., & Macas, A. G. (2023). Crecimiento económico y su incidencia en el medio ambiente medido por la curva Kuznets. Ecuador, periodo 2010-2020. *SUMMA. Revista disciplinaria en ciencias económicas y sociales*, 5(1), 1-15. doi:<https://doi.org/10.47666/summa.5.1.7>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Quinto Informe Nacional para el Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/QUINTO-INFORME-BAJA-FINAL-19.06.2015.pdf>
- Molero, O. L., Andino, C. T., Párraga, M. M., Álava, M. H., & Bejarano, C. H. (2021). Curva de Kuznets Ambiental y determinantes de las emisiones de CO₂ en Ecuador: un enfoque de cointegración. *South Florida Journal of Development*, 2(5), 6453–6474. doi:<https://doi.org/10.46932/sfjdv2n5-014>

- Montoya, L. G., Hernández, E. F., & Soto, F. P. (2021). El medio ambiente, la pobreza y el crecimiento económico en México. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas, Nueva Época*, 16(2). doi:<https://doi.org/10.21919/remef.v16i2.441>
- Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial*. Obtenido de https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf?_gl=1*xv4ilc*_ga*MTA2MzUzOTg0OS4xNzMxMDk3Mzk1*_ga_TK9BQL5X7Z*MTczMTM1OTI4MC40LjAuMTczMTM1OTI4NC4wLjAuMA..
- Nuestro mundo en datos. (2024). *Energía y medio ambiente [Dataset]*. Obtenido de <https://ourworldindata.org/>
- Ochoa, M. W., Quito, B., Enríquez, D., & Álvarez, G. J. (2022). Evaluation of the environmental Kuznets curve hypothesis in a tourism development context: evidence for 15 Latin American countries. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2143-2155. doi:<https://doi.org/10.1002/bse.3012>
- Orozco, C. &. (2018). Estrategias para el Desarrollo Sostenible en Ecuador. . *Revista Latinoamericana de Economía Ambiental y Recursos Naturales*. , 25-39. Recuperado el 9 de 11 de 2024, de <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/exploradordigital/article/view/317>
- Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1995). An autoregressive distributed lag modelling approach to cointegration analysis. *Cambridge, UK: Department of Applied Economics, University of Cambridge.*, 9514, 371-413. Obtenido de <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=743dc1e8cf7eea4a2ac9bc58907f2ce08a1f5d90>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of applied econometrics*, 16(3), 289-326. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/2678547>
- Phillips, P. C., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75, 335–346. doi:<https://doi.org/10.2307/2336182>
- Red de Huella Global. (2024). *Huella ecológica vs biocapacidad*. Obtenido de https://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.122465806.480577553.1732056746-1342595814.1732056746#/countryTrends?cn=58&type=BCpc,EFCpc
- Renteria, V., Toledo, E., Bravo, B. D., & Ochoa, J. D. (2016). Relación entre Emisiones Contaminantes, Crecimiento Económico y Consumo de Energía. El caso de Ecuador 1971-

2010. *Revista Politécnica*, 38(1). Obtenido de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/482
- Robalino, L. A., Gracia, R. J., Golpe, A., & Mena, N. A. (2014). System dynamics modelling and the environmental Kuznets curve in Ecuador (1980–2025). *Energy Policy*, 67, 923-931. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.003>
- Ruiz, G. M., Álvarez, J. E., Mayorga, A. C., & Vaca, W. (2024). El consumo de los hogares y la contaminación en el Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 17(44), 79-90. doi:<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol17iss44.2024pp79-90p>
- Salvador, G. C., Jimber del Río, J. A., & Vergara, R. A. (2023). Environmental Kuznets Curve: An Updated Empirical Vision for Ecuador. *TEM Journal*, 12(3), 1792-1798. doi:<https://doi.org/10.18421/TEM123-62>
- Sánchez, V. (2018). Relación entre crecimiento económico y degradación ambiental, un análisis a nivel global por niveles de ingresos. *Revista Económica*, 2(1), 96-109. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/economica/article/view/454>
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World development*, 32(8), 1419-1439. doi:<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (2012). *Introducción a la econometría* (3 ed.). Pearson Educación.
- Todaro, M., & Smith, S. (2020). *Economic Development* (13 ed.). Pearson Education Limited. Obtenido de https://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/F5v9e6_Economic%20Development-2020.pdf
- Vizuite, M. M. (2023). Análisis estadístico de la curva ambiental de Kuznets, mediante el modelo VAR: crecimiento económico del Ecuador periodo 1973 - 2021. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 4(1), 1145–1156. doi:<https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.326>
- Zambrano, M. M., García, A. F., & Henk, V. K. (2016). Bounds testing approach to analyze the existence of an environmental Kuznets curve in Ecuador. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6(2), 159-166. Obtenido de <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijeeep/issue/31917/351069>
- Zambrano, M. M., Silva, Z. C., Davalos, P. J., Zambrano, M. A., & Ruano, M. A. (2018). Testing environmental Kuznets curve hypothesis in Peru: The role of renewable electricity, petroleum and dry natural gas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 4170-4178. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.11.005>

Zilio, M., & Caraballo, M. Á. (2014). ¿El final de la curva de Kuznets de carbono? Un análisis semiparamétrico para la América Latina y el Caribe. *El trimestre económico*, 81(321), 241-270. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2014000100241&lng=es&tlng=es.

Apéndices

Apéndice A

Prueba de Dickey-Fuller Mínimos Cuadrados Generalizados

Huella Ecológica

DF-GLS test for unit root

Number of obs = 51

Variable: Huella

Lag selection: Schwert criterion

Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-0.960	-3.724	-2.721	-2.440
9	-1.198	-3.724	-2.773	-2.492
8	-1.088	-3.724	-2.826	-2.545
7	-1.446	-3.724	-2.880	-2.598
6	-1.344	-3.724	-2.934	-2.650
5	-0.876	-3.724	-2.987	-2.700
4	-1.021	-3.724	-3.037	-2.746
3	-0.903	-3.724	-3.083	-2.789
2	-0.693	-3.724	-3.124	-2.827
1	-1.360	-3.724	-3.160	-2.860

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 6 with RMSE = .0704394

Min SIC = -4.940101 at lag 2 with RMSE = .0753439

Min MAIC = -5.068949 at lag 2 with RMSE = .0753439

Gases Invernadero

DF-GLS test for unit root

Number of obs = 52

Variable: Invernadero

Lag selection: Schwert criterion

Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-2.656	-3.721	-2.725	-2.444
9	-2.694	-3.721	-2.776	-2.496
8	-3.425	-3.721	-2.828	-2.548
7	-3.159	-3.721	-2.882	-2.600
6	-2.972	-3.721	-2.934	-2.650
5	-2.816	-3.721	-2.986	-2.699
4	-2.669	-3.721	-3.034	-2.744
3	-2.642	-3.721	-3.080	-2.786
2	-2.672	-3.721	-3.120	-2.823
1	-2.883	-3.721	-3.155	-2.855

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 0, use option maxlag(0)

Min SIC = -3.760703 at lag 1 with RMSE = .1413753

Min MAIC = -3.50787 at lag 2 with RMSE = .140795

Contaminantes Aire

DF-GLS test for unit root Number of obs = 52
 Variable: Aire
 Lag selection: Schwert criterion Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-1.438	-3.721	-2.725	-2.444
9	-1.858	-3.721	-2.776	-2.496
8	-1.759	-3.721	-2.828	-2.548
7	-1.620	-3.721	-2.882	-2.600
6	-1.272	-3.721	-2.934	-2.650
5	-1.112	-3.721	-2.986	-2.699
4	-1.122	-3.721	-3.034	-2.744
3	-0.941	-3.721	-3.080	-2.786
2	-0.843	-3.721	-3.120	-2.823
1	-0.800	-3.721	-3.155	-2.855

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 7 with RMSE = .0640303
 Min SIC = -5.214479 at lag 1 with RMSE = .0683424
 Min MAIC = -5.301845 at lag 1 with RMSE = .0683424

Energía Primaria

DF-GLS test for unit root Number of obs = 48
 Variable: Energia
 Lag selection: Schwert criterion Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-1.467	-3.736	-2.709	-2.425
9	-1.497	-3.736	-2.762	-2.479
8	-1.449	-3.736	-2.818	-2.536
7	-1.230	-3.736	-2.875	-2.592
6	-1.172	-3.736	-2.933	-2.648
5	-1.050	-3.736	-2.989	-2.701
4	-0.957	-3.736	-3.043	-2.752
3	-0.760	-3.736	-3.093	-2.799
2	-0.314	-3.736	-3.138	-2.840
1	-0.347	-3.736	-3.177	-2.875

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 3 with RMSE = .0651872
 Min SIC = -5.208847 at lag 1 with RMSE = .0682162
 Min MAIC = -5.323084 at lag 1 with RMSE = .0682162

Recursos Naturales

DF-GLS test for unit root Number of obs = 41
 Variable: Recursos
 Lag selection: Schwert criterion Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-1.587	-3.762	-2.681	-2.384
9	-1.711	-3.762	-2.735	-2.443
8	-2.033	-3.762	-2.795	-2.506
7	-2.219	-3.762	-2.859	-2.571
6	-2.121	-3.762	-2.926	-2.637
5	-2.110	-3.762	-2.993	-2.702
4	-1.962	-3.762	-3.059	-2.764
3	-1.925	-3.762	-3.120	-2.822
2	-2.075	-3.762	-3.176	-2.873
1	-2.449	-3.762	-3.223	-2.916

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 0, use option maxlag(0)
 Min SIC = -1.613452 at lag 1 with RMSE = .4076685
 Min MAIC = -1.503271 at lag 2 with RMSE = .3964631

PIB per cápita

DF-GLS test for unit root Number of obs = 53
 Variable: PIB
 Lag selection: Schwert criterion Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-2.972	-3.717	-2.729	-2.449
9	-2.794	-3.717	-2.779	-2.499
8	-2.693	-3.717	-2.831	-2.551
7	-3.370	-3.717	-2.883	-2.601
6	-3.046	-3.717	-2.935	-2.651
5	-3.322	-3.717	-2.985	-2.698
4	-2.915	-3.717	-3.032	-2.743
3	-2.880	-3.717	-3.076	-2.783
2	-2.473	-3.717	-3.116	-2.820
1	-2.764	-3.717	-3.150	-2.851

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 1 with RMSE = .1092638
 Min SIC = -4.278157 at lag 1 with RMSE = .1092638
 Min MAIC = -4.07858 at lag 1 with RMSE = .1092638

Industrias

DF-GLS test for unit root

Number of obs = 53

Variable: **Industria**

Lag selection: Schwert criterion

Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-2.455	-3.717	-2.729	-2.449
9	-1.849	-3.717	-2.779	-2.499
8	-2.317	-3.717	-2.831	-2.551
7	-2.518	-3.717	-2.883	-2.601
6	-2.801	-3.717	-2.935	-2.651
5	-2.804	-3.717	-2.985	-2.698
4	-2.400	-3.717	-3.032	-2.743
3	-2.358	-3.717	-3.076	-2.783
2	-1.931	-3.717	-3.116	-2.820
1	-1.767	-3.717	-3.150	-2.851

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 10 with RMSE = .1307775

Min SIC = -3.613865 at lag 1 with RMSE = .152309

Min MAIC = -3.597614 at lag 1 with RMSE = .152309

Agricultura

DF-GLS test for unit root

Number of obs = 53

Variable: **Agricultura**

Lag selection: Schwert criterion

Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-2.055	-3.717	-2.729	-2.449
9	-1.923	-3.717	-2.779	-2.499
8	-2.140	-3.717	-2.831	-2.551
7	-2.273	-3.717	-2.883	-2.601
6	-2.261	-3.717	-2.935	-2.651
5	-2.439	-3.717	-2.985	-2.698
4	-2.677	-3.717	-3.032	-2.743
3	-2.307	-3.717	-3.076	-2.783
2	-2.447	-3.717	-3.116	-2.820
1	-2.465	-3.717	-3.150	-2.851

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 1 with RMSE = .1169505

Min SIC = -4.142186 at lag 1 with RMSE = .1169505

Min MAIC = -4.007483 at lag 1 with RMSE = .1169505

Servicios

DF-GLS test for unit root

Number of obs = 53

Variable: Servicios

Lag selection: Schwert criterion

Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-2.698	-3.717	-2.729	-2.449
9	-2.793	-3.717	-2.779	-2.499
8	-2.742	-3.717	-2.831	-2.551
7	-3.347	-3.717	-2.883	-2.601
6	-2.973	-3.717	-2.935	-2.651
5	-3.122	-3.717	-2.985	-2.698
4	-2.748	-3.717	-3.032	-2.743
3	-2.750	-3.717	-3.076	-2.783
2	-2.375	-3.717	-3.116	-2.820
1	-2.802	-3.717	-3.150	-2.851

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 1 with RMSE = .1183671

Min SIC = -4.118107 at lag 1 with RMSE = .1183671

Min MAIC = -3.952164 at lag 2 with RMSE = .1172932

Comercio

DF-GLS test for unit root

Number of obs = 53

Variable: Comercio

Lag selection: Schwert criterion

Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-2.543	-3.717	-2.729	-2.449
9	-2.164	-3.717	-2.779	-2.499
8	-2.810	-3.717	-2.831	-2.551
7	-2.887	-3.717	-2.883	-2.601
6	-2.861	-3.717	-2.935	-2.651
5	-2.581	-3.717	-2.985	-2.698
4	-2.386	-3.717	-3.032	-2.743
3	-2.490	-3.717	-3.076	-2.783
2	-1.949	-3.717	-3.116	-2.820
1	-2.031	-3.717	-3.150	-2.851

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 9 with RMSE = .1466795

Min SIC = -3.47165 at lag 1 with RMSE = .1635337

Min MAIC = -3.41502 at lag 1 with RMSE = .1635337

Precio Petróleo

DF-GLS test for unit root

Number of obs = 53

Variable: Precio

Lag selection: Schwert criterion

Maximum lag = 10

[lags]	DF-GLS tau	Critical value		
		1%	5%	10%
10	-3.534	-3.717	-2.729	-2.449
9	-3.485	-3.717	-2.779	-2.499
8	-3.738	-3.717	-2.831	-2.551
7	-3.438	-3.717	-2.883	-2.601
6	-3.614	-3.717	-2.935	-2.651
5	-3.190	-3.717	-2.985	-2.698
4	-2.381	-3.717	-3.032	-2.743
3	-2.572	-3.717	-3.076	-2.783
2	-2.332	-3.717	-3.116	-2.820
1	-2.467	-3.717	-3.150	-2.851

Opt lag (Ng-Perron seq t) = 5 with RMSE = .2551936

Min SIC = -2.399869 at lag 1 with RMSE = .2794741

Min MAIC = -2.257371 at lag 1 with RMSE = .2794741

Apéndice B

Criterios de Información para la Selección de Rezagos Óptimos

MODELO: Huella Ecológica

Lag-order selection criteria

Sample: 1965 thru 2022

Number of obs = 58

Lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	111.647				6.4e-11	-3.6085	-3.51164	-3.35983
1	567.201	911.11	49	0.000	5.3e-17*	-17.6276	-16.8527*	-15.6382*
2	610.294	86.185	49	0.001	7.0e-17	-17.4239	-15.971	-13.6938
3	662.107	103.63	49	0.000	7.7e-17	-17.5209	-15.3899	-12.0501
4	714.776	105.34*	49	0.000	1.0e-16	-17.6474*	-14.8384	-10.4359

* optimal lag

Endogenous: Huella PIB Industria Agricultura Servicios Comercio Precio

Exogenous: _cons

MODELO: Gases Invernadero

Lag-order selection criteria

Sample: 1964 thru 2022

Number of obs = 59

Lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	75.4927				2.3e-10	-2.32178	-2.22557	-2.0753
1	532.86	914.73	49	0.000	2.3e-16*	-16.1647*	-15.395*	-14.1928*
2	576.164	86.608	49	0.001	3.0e-16	-15.9717	-14.5284	-12.2743
3	630.599	108.87	49	0.000	3.0e-16	-16.1559	-14.0391	-10.7332
4	672.031	82.864*	49	0.002	5.6e-16	-15.8994	-13.109	-8.75123

* optimal lag

Endogenous: Invernadero PIB Industria Agricultura Servicios Comercio
Precio

Exogenous: _cons

MODELO: Contaminantes Aire

Lag-order selection criteria

Sample: 1964 thru 2022

Number of obs = 59

Lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	88.6742				1.5e-10	-2.76862	-2.6724	-2.52213
1	584.235	991.12	49	0.000	4.0e-17*	-17.9063*	-17.1365*	-15.9344*
2	624.463	80.455	49	0.003	5.8e-17	-17.6089	-16.1656	-13.9116
3	673.693	98.462	49	0.000	6.9e-17	-17.6167	-15.4999	-12.194
4	727.189	106.99*	49	0.000	8.7e-17	-17.7691	-14.9788	-10.621

* optimal lag

Endogenous: Aire PIB Industria Agricultura Servicios Comercio Precio

Exogenous: _cons

MODELO: Energía Primaria

Lag-order selection criteria

Sample: 1969 thru 2023

Number of obs = 55

Lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	113.663				4.9e-11	-3.87864	-3.77985	-3.62316
1	563.034	898.74	49	0.000	2.4e-17	-18.4376	-17.6472*	-16.3938*
2	619.423	112.78	49	0.000	2.0e-17	-18.7063	-17.2244	-14.8741
3	659.03	79.215	49	0.004	3.5e-17	-18.3647	-16.1912	-12.7442
4	745.76	173.46*	49	0.000	1.4e-17*	-19.7367*	-16.8716	-12.3278

* optimal lag

Endogenous: Energia PIB Industria Agricultura Servicios Comercio Precio

Exogenous: _cons

MODELO: Recursos Naturales

Lag-order selection criteria

Sample: 1974 thru 2021

Number of obs = 48

Lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	96.9054				5.6e-11	-3.74606	-3.64294	-3.47318
1	444.428	695.04	49	0.000	2.3e-16	-16.1845	-15.3595*	-14.0014*
2	493.927	98.997	49	0.000	2.5e-16	-16.2053	-14.6584	-12.112
3	546.66	105.47	49	0.000	3.1e-16	-16.3608	-14.0921	-10.3574
4	627.456	161.59*	49	0.000	1.9e-16*	-17.6857*	-14.6951	-9.77203

* optimal lag

Endogenous: Recursos PIB Industria Agricultura Servicios Comercio Precio

Exogenous: _cons

Apéndice C

Prueba de cointegración de Johansen para los modelos con un rezago y con cuatro rezagos

MODELO: Huella Ecológica Un rezago

Johansen tests for cointegration

Trend: Constant

Sample: 1962 thru 2022

Number of obs = 61

Number of lags = 1

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Trace statistic	Critical value	
					5%	1%
0	7	511.42393		163.5960	124.24	133.57
1	20	537.31996	0.57218	111.8040	94.15	103.18
2	31	557.19903	0.47888	72.0458*1	68.52	76.07
3	40	571.22852	0.36871	43.9868*5	47.21	54.46
4	47	582.60942	0.31143	21.2250	29.68	35.65
5	52	587.68479	0.15330	11.0743	15.41	20.04
6	55	590.79454	0.09693	4.8548	3.76	6.65
7	56	593.22193	0.07650			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Maximum	Critical value	
					5%	1%
0	7	511.42393		51.7921	45.28	51.57
1	20	537.31996	0.57218	39.7581	39.37	45.10
2	31	557.19903	0.47888	28.0590	33.46	38.77
3	40	571.22852	0.36871	22.7618	27.07	32.24
4	47	582.60942	0.31143	10.1507	20.97	25.52
5	52	587.68479	0.15330	6.2195	14.07	18.63
6	55	590.79454	0.09693	4.8548	3.76	6.65
7	56	593.22193	0.07650			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	SBIC	HQIC	AIC
0	7	511.42393		-16.29626*	-16.44356	-16.53849
1	20	537.31996	0.57218	-16.26922	-16.69007	-16.96131
2	31	557.19903	0.47888	-16.17969	-16.83201	-17.25243
3	40	571.22852	0.36871	-16.03315	-16.87486	-17.41733
4	47	582.60942	0.31143	-15.93455	-16.92356*	-17.56096
5	52	587.68479	0.15330	-15.764	-16.85822	-17.56344
6	55	590.79454	0.09693	-15.66379	-16.82113	-17.56703
7	56	593.22193	0.07650	-15.67598	-16.85437	-17.61383

* selected rank

MODELO: Gases Invernadero Un rezago

Johansen tests for cointegration

Trend: Constant

Number of obs = 62

Sample: 1961 thru 2022

Number of lags = 1

Maximum				Trace	Critical value	
rank	Params	LL	Eigenvalue	statistic	5%	1%
0	7	468.07845		168.9414	124.24	133.57
1	20	494.38395	0.57197	116.3304	94.15	103.18
2	31	513.15186	0.45415	78.7946	68.52	76.07
3	40	530.62197	0.43082	43.8543*1*5	47.21	54.46
4	47	541.34819	0.29249	22.4019	29.68	35.65
5	52	547.03856	0.16770	11.0212	15.41	20.04
6	55	550.89394	0.11694	3.3104	3.76	6.65
7	56	552.54914	0.05199			

Maximum			Eigenvalue		Critical value	
rank	Params	LL		Maximum	5%	1%
0	7	468.07845		52.6110	45.28	51.57
1	20	494.38395	0.57197	37.5358	39.37	45.10
2	31	513.15186	0.45415	34.9402	33.46	38.77
3	40	530.62197	0.43082	21.4524	27.07	32.24
4	47	541.34819	0.29249	11.3808	20.97	25.52
5	52	547.03856	0.16770	7.7107	14.07	18.63
6	55	550.89394	0.11694	3.3104	3.76	6.65
7	56	552.54914	0.05199			

Maximum						
rank	Params	LL	Eigenvalue	SBIC	HQIC	AIC
0	7	468.07845		-14.63334*	-14.77921	-14.8735
1	20	494.38395	0.57197	-14.61654	-15.0333	-15.30271
2	31	513.15186	0.45415	-14.48972	-15.1357	-15.55329
3	40	530.62197	0.43082	-14.45417	-15.2877	-15.82652
4	47	541.34819	0.29249	-14.33421	-15.31361*	-15.94672
5	52	547.03856	0.16770	-14.18494	-15.26852	-15.96899
6	55	550.89394	0.11694	-14.1096	-15.2557	-15.99658
7	56	552.54914	0.05199	-14.09643	-15.26337	-16.01771

* selected rank

MODELO: Contaminantes Aire Un rezago

Johansen tests for cointegration

Trend: Constant

Number of obs = 62

Sample: 1961 thru 2022

Number of lags = 1

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Trace statistic	Critical value	
					5%	1%
0	7	521.28023		167.1003	124.24	133.57
1	20	549.7471	0.60080	110.1665	94.15	103.18
2	31	571.03271	0.49673	67.5953*1*5	68.52	76.07
3	40	585.09611	0.36470	39.4685	47.21	54.46
4	47	595.88462	0.29391	17.8915	29.68	35.65
5	52	601.16006	0.15648	7.3406	15.41	20.04
6	55	604.0691	0.08957	1.5225	3.76	6.65
7	56	604.83035	0.02426			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Maximum	Critical value	
					5%	1%
0	7	521.28023		56.9337	45.28	51.57
1	20	549.7471	0.60080	42.5712	39.37	45.10
2	31	571.03271	0.49673	28.1268	33.46	38.77
3	40	585.09611	0.36470	21.5770	27.07	32.24
4	47	595.88462	0.29391	10.5509	20.97	25.52
5	52	601.16006	0.15648	5.8181	14.07	18.63
6	55	604.0691	0.08957	1.5225	3.76	6.65
7	56	604.83035	0.02426			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	SBIC	HQIC	AIC
0	7	521.28023		-16.34952	-16.49539	-16.58968
1	20	549.7471	0.60080	-16.40244*	-16.81921	-17.08862
2	31	571.03271	0.49673	-16.35684	-17.00283	-17.42041
3	40	585.09611	0.36470	-16.2114	-17.04493	-17.58375
4	47	595.88462	0.29391	-16.09345	-17.07285*	-17.70596
5	52	601.16006	0.15648	-15.93079	-17.01438	-17.71484
6	55	604.0691	0.08957	-15.82493	-16.97103	-17.71191
7	56	604.83035	0.02426	-15.78292	-16.94986	-17.7042

* selected rank

MODELO: Energia Primaria Un rezago

Johansen tests for cointegration

Trend: Constant

Number of obs = 58

Sample: 1966 thru 2023

Number of lags = 1

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Trace statistic	Critical value	
					5%	1%
0	7	496.45576		181.8177	124.24	133.57
1	20	528.23878	0.66578	118.2516	94.15	103.18
2	31	550.88589	0.54202	72.9574*1	68.52	76.07
3	40	567.12243	0.42872	40.4843*5	47.21	54.46
4	47	578.26675	0.31906	18.1957	29.68	35.65
5	52	582.82711	0.14551	9.0750	15.41	20.04
6	55	585.50414	0.08818	3.7209	3.76	6.65
7	56	587.3646	0.06214			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue		Critical value	
				Maximum	5%	1%
0	7	496.45576		63.5660	45.28	51.57
1	20	528.23878	0.66578	45.2942	39.37	45.10
2	31	550.88589	0.54202	32.4731	33.46	38.77
3	40	567.12243	0.42872	22.2886	27.07	32.24
4	47	578.26675	0.31906	9.1207	20.97	25.52
5	52	582.82711	0.14551	5.3541	14.07	18.63
6	55	585.50414	0.08818	3.7209	3.76	6.65
7	56	587.3646	0.06214			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	SBIC	HQIC	AIC
0	7	496.45576		-16.62911	-16.78092	-16.87778
1	20	528.23878	0.66578	-16.81498	-17.24872	-17.52548
2	31	550.88589	0.54202	-16.82583*	-17.49813	-17.9271
3	40	567.12243	0.42872	-16.75564	-17.62313	-18.17664
4	47	578.26675	0.31906	-16.64987	-17.66917*	-18.31954
5	52	582.82711	0.14551	-16.45709	-17.58482	-18.30438
6	55	585.50414	0.08818	-16.33938	-17.53217	-18.29325
7	56	587.3646	0.06214	-16.33352	-17.54801	-18.32292

* selected rank

MODELO: Recursos Naturales Un rezago

Johansen tests for cointegration

Trend: Constant

Number of obs = 51

Sample: 1971 thru 2021

Number of lags = 1

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Trace statistic	Critical value	
					5%	1%
0	7	363.39367		188.0559	124.24	133.57
1	20	392.64725	0.68248	129.5488	94.15	103.18
2	31	415.35665	0.58958	84.1300	68.52	76.07
3	40	432.66518	0.49276	49.5129*1	47.21	54.46
4	47	443.48707	0.34583	27.8691*5	29.68	35.65
5	52	450.04616	0.22680	14.7509	15.41	20.04
6	55	455.07704	0.17905	4.6892	3.76	6.65
7	56	457.42163	0.08784			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Maximum	Critical value	
					5%	1%
0	7	363.39367		58.5072	45.28	51.57
1	20	392.64725	0.68248	45.4188	39.37	45.10
2	31	415.35665	0.58958	34.6171	33.46	38.77
3	40	432.66518	0.49276	21.6438	27.07	32.24
4	47	443.48707	0.34583	13.1182	20.97	25.52
5	52	450.04616	0.22680	10.0618	14.07	18.63
6	55	455.07704	0.17905	4.6892	3.76	6.65
7	56	457.42163	0.08784			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	SBIC	HQIC	AIC
0	7	363.39367		-13.71107	-13.8749	-13.97622
1	20	392.64725	0.68248	-13.85604	-14.32412	-14.61362
2	31	415.35665	0.58958	-13.89856*	-14.6241	-15.07281
3	40	432.66518	0.49276	-13.88348	-14.81965	-15.39863
4	47	443.48707	0.34583	-13.7682	-14.8682	-15.54851
5	52	450.04616	0.22680	-13.63995	-14.85697	-15.60965
6	55	455.07704	0.17905	-13.60595	-14.89319*	-15.6893
7	56	457.42163	0.08784	-13.6208	-14.93144	-15.74202

* selected rank

MODELO: Huella Ecológica Cuatro rezagos

Johansen tests for cointegration

Trend: Constant

Number of obs = 58

Sample: 1965 thru 2022

Number of lags = 4

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Trace statistic	Critical value	
					5%	1%
0	154	620.07157		189.4089	124.24	133.57
1	167	648.40441	0.62356	132.7432	94.15	103.18
2	178	670.80085	0.53805	87.9503	68.52	76.07
3	187	688.38292	0.45462	52.7862*1	47.21	54.46
4	194	704.90217	0.43426	19.7477*5	29.68	35.65
5	199	710.18994	0.16668	9.1721	15.41	20.04
6	202	714.48525	0.13767	0.5815	3.76	6.65
7	203	714.776	0.00998			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Maximum	Critical value	
					5%	1%
0	154	620.07157		56.6657	45.28	51.57
1	167	648.40441	0.62356	44.7929	39.37	45.10
2	178	670.80085	0.53805	35.1641	33.46	38.77
3	187	688.38292	0.45462	33.0385	27.07	32.24
4	194	704.90217	0.43426	10.5755	20.97	25.52
5	199	710.18994	0.16668	8.5906	14.07	18.63
6	202	714.48525	0.13767	0.5815	3.76	6.65
7	203	714.776	0.00998			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	SBIC	HQIC	AIC
0	154	620.07157		-10.6006	-13.94043	-16.07143
1	167	648.40441	0.62356	-10.6675	-14.28926	-16.60015
2	178	670.80085	0.53805	-10.6697	-14.53003	-16.99313
3	187	688.38292	0.45462	-10.64591	-14.70142	-17.28907
4	194	704.90217	0.43426	-10.72549*	-14.93281*	-17.61732
5	199	710.18994	0.16668	-10.55779	-14.87355	-17.62724
6	202	714.48525	0.13767	-10.49588	-14.8767	-17.67191
7	203	714.776	0.00998	-10.4359	-14.8384	-17.64745

* selected rank

MODELO: Energía Primaria Cuatro rezagos

Johansen tests for cointegration

Trend: Constant

Number of obs = 55

Sample: 1969 thru 2023

Number of lags = 4

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Trace statistic	Critical value	
					5%	1%
0	154	626.674		238.1712	124.24	133.57
1	167	663.96462	0.74232	163.5900	94.15	103.18
2	178	690.75279	0.62247	110.0137	68.52	76.07
3	187	711.43328	0.52859	68.6527	47.21	54.46
4	194	726.28422	0.41727	38.9508	29.68	35.65
5	199	736.18452	0.30233	19.1502*	15.41	20.04
6	202	743.06413	0.22133	5.3910	3.76	6.65
7	203	745.75962	0.09337			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Maximum	Critical value	
					5%	1%
0	154	626.674		74.5812	45.28	51.57
1	167	663.96462	0.74232	53.5763	39.37	45.10
2	178	690.75279	0.62247	41.3610	33.46	38.77
3	187	711.43328	0.52859	29.7019	27.07	32.24
4	194	726.28422	0.41727	19.8006	20.97	25.52
5	199	736.18452	0.30233	13.7592	14.07	18.63
6	202	743.06413	0.22133	5.3910	3.76	6.65
7	203	745.75962	0.09337			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	SBIC	HQIC	AIC
0	154	626.674		-11.56761	-15.01464	-17.18815
1	167	663.96462	0.74232	-11.97645	-15.71446	-18.07144
2	178	690.75279	0.62247	-12.1491	-16.13332	-18.64556
3	187	711.43328	0.52859	-12.24537	-16.43104	-19.0703
4	194	726.28422	0.41727	-12.27538	-16.61774	-19.35579
5	199	736.18452	0.30233	-12.27109	-16.72536	-19.53398
6	202	743.06413	0.22133	-12.30267*	-16.8241*	-19.67506
7	203	745.75962	0.09337	-12.32783	-16.87164	-19.73671

* selected rank

MODELO: Recursos Naturales Cuatro rezagos

Johansen tests for cointegration

Trend: Constant

Number of obs = 48

Sample: 1974 thru 2021

Number of lags = 4

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Trace statistic	Critical value	
					5%	1%
0	154	510.23725		234.4368	124.24	133.57
1	167	545.24536	0.76745	164.4206	94.15	103.18
2	178	575.92708	0.72152	103.0571	68.52	76.07
3	187	596.61818	0.57774	61.6749	47.21	54.46
4	194	609.90195	0.42506	35.1074*1	29.68	35.65
5	199	619.08463	0.31792	16.7420	15.41	20.04
6	202	625.22522	0.22575	4.4608	3.76	6.65
7	203	627.45564	0.08875			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	Maximum	Critical value	
					5%	1%
0	154	510.23725		70.0162	45.28	51.57
1	167	545.24536	0.76745	61.3634	39.37	45.10
2	178	575.92708	0.72152	41.3822	33.46	38.77
3	187	596.61818	0.57774	26.5675	27.07	32.24
4	194	609.90195	0.42506	18.3654	20.97	25.52
5	199	619.08463	0.31792	12.2812	14.07	18.63
6	202	625.22522	0.22575	4.4608	3.76	6.65
7	203	627.45564	0.08875			

Maximum rank	Params	LL	Eigenvalue	SBIC	HQIC	AIC
0	154	510.23725		-8.839782	-12.57451	-14.84322
1	167	545.24536	0.76745	-9.250003	-13.3	-15.76022
2	178	575.92708	0.72152	-9.641258	-13.95802	-16.5803
3	187	596.61818	0.57774	-9.777537*	-14.31257	-17.06742
4	194	609.90195	0.42506	-9.766477	-14.47127	-17.32925
5	199	619.08463	0.31792	-9.745839	-14.57188	-17.50353
6	202	625.22522	0.22575	-9.759747	-14.65855*	-17.63438
7	203	627.45564	0.08875	-9.772031	-14.69508	-17.68565

* selected rank

Apéndice D

Condición de estabilidad para los modelos VECM

Modelo Huella: 1 Rezagos, 1 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
.9148804	.91488

The VECM specification imposes 6 unit moduli.

Modelo Huella: 1 Rezagos, 2 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
.91938	.91938
.7268633	.726863

The VECM specification imposes 5 unit moduli.

Modelo Huella: 1 Rezagos, 3 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
.9229673	.922967
.7034616	.703462
.483507	.483507

The VECM specification imposes 4 unit moduli.

Modelo Huella: 1 Rezagos, 4 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
.9201937	.920194
.746851 + .2219351i	.779129
.746851 - .2219351i	.779129
.5007749	.500775

The VECM specification imposes 3 unit moduli.

Modelo Invernadero: 1 Rezagos, 1 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
.9034331	.903433

The VECM specification imposes 6 unit moduli.

Modelo Invernadero: 1 Rezagos, 3 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
.9138208	.913821
.7064615	.706462
.3476921	.347692

The VECM specification imposes 4 unit moduli.

Modelo Invernadero: 1 Rezagos, 4 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
.9020368	.902037
.7542111 + .1699233i	.773116
.7542111 - .1699233i	.773116
.3720515	.372052

The VECM specification imposes 3 unit moduli.

Modelo Aire: 1 Rezagos, 1 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
.7360106	.736011

The VECM specification imposes 6 unit moduli.

Modelo Aire: 1 Rezagos, 2 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
.8861482	.886148
.5106757	.510676

The VECM specification imposes 5 unit moduli.

Modelo Aire: 1 Rezagos, 4 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
.9271924	.927192
.7937694 + .1961415i	.817644
.7937694 - .1961415i	.817644
.3005345	.300534

The VECM specification imposes 3 unit moduli.

Modelo Energia: 1 Rezagos, 2 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
.8533837	.853384
.6646048	.664605

The VECM specification imposes 5 unit moduli.

Modelo Energia: 1 Rezagos, 3 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
.939231	.939231
.7618052	.761805
.3370708	.337071

The VECM specification imposes 4 unit moduli.

Modelo Energia: 1 Rezagos, 4 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
.940753	.940753
.8170326 + .2210725i	.846413
.8170326 - .2210725i	.846413
.2137537	.213754

The VECM specification imposes 3 unit moduli.

Modelo Recursos: 1 Rezagos, 2 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
.7993957	.799396
.360243	.360243

The VECM specification imposes 5 unit moduli.

Modelo Recursos: 1 Rezagos, 3 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
.7654594 + .01112671i	.76554
.7654594 - .01112671i	.76554
.02394405	.023944

The VECM specification imposes 4 unit moduli.

Modelo Recursos: 1 Rezagos, 4 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
.8487542	.848754
.7924008 + .2237375i	.823382
.7924008 - .2237375i	.823382
-.01033124	.010331

The VECM specification imposes 3 unit moduli.

Modelo Recursos: 1 Rezagos, 6 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
.9861478	.986148
.8242733 + .2366853i	.857582
.8242733 - .2366853i	.857582
.6396996 + .1329296i	.653365
.6396996 - .1329296i	.653365
-.01199463	.011995

The VECM specification imposes a unit modulus.

Modelo Huella: 4 Rezagos, 1 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
.9390566	.939057
-.8035667	.803567
-.2363644 + .7672557i	.802838
-.2363644 - .7672557i	.802838
.07608668 + .7916168i	.795265
.07608668 - .7916168i	.795265
-.6591949 + .3985391i	.770306
-.6591949 - .3985391i	.770306
.2417431 + .7277107i	.766813
.2417431 - .7277107i	.766813
-.7614128	.761413
.7481018	.748102
.611954 + .3983341i	.730177
.611954 - .3983341i	.730177
-.35478 + .6165727i	.711358
-.35478 - .6165727i	.711358
.4449743 + .5533739i	.710088
.4449743 - .5533739i	.710088
.302697 + .2527177i	.394324
.302697 - .2527177i	.394324
-.2410121	.241012
.05876308	.058763

The VECM specification imposes 6 unit moduli.

Modelo Huella: 4 Rezagos, 3 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
.9324468	.932447
-.279609 + .793631i	.841446
-.279609 - .793631i	.841446
.08634951 + .801178i	.805818
.08634951 - .801178i	.805818
.4745282 + .6416757i	.798076
.4745282 - .6416757i	.798076
-.7976941	.797694
.6586309 + .4391874i	.791631
.6586309 - .4391874i	.791631
.2690213 + .679547i	.73086
.2690213 - .679547i	.73086
-.6315656 + .3474387i	.720825
-.6315656 - .3474387i	.720825
-.7144841	.714484
-.3663119 + .599843i	.702849
-.3663119 - .599843i	.702849
.6923741 + .1183762i	.702421
.6923741 - .1183762i	.702421
.466364 + .3811057i	.602276
.466364 - .3811057i	.602276
-.2651674 + .4622444i	.532901
-.2651674 - .4622444i	.532901
.05410906	.054109

The VECM specification imposes 4 unit moduli.

Modelo Huella: 4 Rezagos, 4 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
.9326426	.932643
.8730822 + .3168898i	.928812
.8730822 - .3168898i	.928812
.3270977 + .7831468i	.848712
.3270977 - .7831468i	.848712
-.2790318 + .7902574i	.838073
-.2790318 - .7902574i	.838073
-.4558656 + .6830758i	.821222
-.4558656 - .6830758i	.821222
.08799409 + .8093201i	.81409
.08799409 - .8093201i	.81409
-.8137813	.813781
.4824864 + .6483025i	.808139
.4824864 - .6483025i	.808139
.6681189 + .3047441i	.734338
.6681189 - .3047441i	.734338
-.7203471	.720347
-.6034262 + .3631341i	.704265
-.6034262 - .3631341i	.704265
.4739132 + .3573542i	.593545
.4739132 - .3573542i	.593545
.06262814 + .5024665i	.506355
.06262814 - .5024665i	.506355
-.4597512	.459751
.04165664	.041657

The VECM specification imposes 3 unit moduli.

Modelo Energia: 4 Rezagos, 3 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
.8255409 + .4107488i	.92208
.8255409 - .4107488i	.92208
.9058001	.9058
.855392 + .1858393i	.875347
.855392 - .1858393i	.875347
-.1582621 + .8320105i	.846929
-.1582621 - .8320105i	.846929
.4605211 + .6503955i	.796928
.4605211 - .6503955i	.796928
-.3951848 + .6655599i	.774042
-.3951848 - .6655599i	.774042
.1534029 + .756489i	.771886
.1534029 - .756489i	.771886
-.497871 + .5768937i	.762025
-.497871 - .5768937i	.762025
-.738614	.738614
-.693365 + .1925496i	.719604
-.693365 - .1925496i	.719604
.4077882 + .4894226i	.637045
.4077882 - .4894226i	.637045
.07681026 + .5435484i	.548949
.07681026 - .5435484i	.548949
-.3252949 + .2143771i	.389582
-.3252949 - .2143771i	.389582

The VECM specification imposes 4 unit moduli.

Modelo Energia: 4 Rezagos, 4 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
.9728262	.972826
.8657209 + .3976846i	.952694
.8657209 - .3976846i	.952694
.8439943 + .2135496i	.870592
.8439943 - .2135496i	.870592
-.1584576 + .8439152i	.858663
-.1584576 - .8439152i	.858663
.5258315 + .6549847i	.839943
.5258315 - .6549847i	.839943
-.4521382 + .6539851i	.795063
-.4521382 - .6539851i	.795063
.1713317 + .7239149i	.743914
.1713317 - .7239149i	.743914
-.348524 + .6376208i	.726656
-.348524 - .6376208i	.726656
-.7002628 + .106157i	.708264
-.7002628 - .106157i	.708264
.39026 + .5858165i	.703906
.39026 - .5858165i	.703906
-.5738711 + .2691204i	.633841
-.5738711 - .2691204i	.633841
.1844754 + .4968762i	.530016
.1844754 - .4968762i	.530016
-.3924824	.392482
.07077677	.070777

The VECM specification imposes 3 unit moduli.

Modelo Energia: 4 Rezagos, 5 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
.9356864 + .2621624i	.971719
.9356864 - .2621624i	.971719
.9697261	.969726
.8642563 + .3921799i	.949075
.8642563 - .3921799i	.949075
-.1589315 + .8452915i	.860103
-.1589315 - .8452915i	.860103
.5324889 + .6332308i	.827361
.5324889 - .6332308i	.827361
-.4671278 + .679583i	.824646
-.4671278 - .679583i	.824646
.1442673 + .7612104i	.774761
.1442673 - .7612104i	.774761
-.7679115	.767911
.4061693 + .6072747i	.730586
.4061693 - .6072747i	.730586
-.341626 + .6222352i	.709849
-.341626 - .6222352i	.709849
-.6213186 + .2602579i	.673625
-.6213186 - .2602579i	.673625
.210285 + .6369036i	.670721
.210285 - .6369036i	.670721
-.5964401	.59644
.5950045	.595005
-.4376507	.437651
.05320642	.053206

The VECM specification imposes 2 unit moduli.

Modelo Energia: 4 Rezagos, 6 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
.9444014 + .2806784i	.985228
.9444014 - .2806784i	.985228
.9693941	.969394
.8537776 + .4285084i	.955278
.8537776 - .4285084i	.955278
.8838461 + .2288043i	.912982
.8838461 - .2288043i	.912982
.5416463 + .6615641i	.855013
.5416463 - .6615641i	.855013
-.1674888 + .8368648i	.853461
-.1674888 - .8368648i	.853461
-.4567652 + .668343i	.809516
-.4567652 - .668343i	.809516
.1434323 + .7944774i	.807321
.1434323 - .7944774i	.807321
-.7591335 + .04628719i	.760543
-.7591335 - .04628719i	.760543
.3715883 + .6213143i	.723954
.3715883 - .6213143i	.723954
-.3214672 + .6200263i	.698408
-.3214672 - .6200263i	.698408
.1764749 + .6396105i	.66351
.1764749 - .6396105i	.66351
-.5324757 + .3405125i	.632044
-.5324757 - .3405125i	.632044
-.3465241 + .09420754i	.359102
-.3465241 - .09420754i	.359102

The VECM specification imposes a unit modulus.

Modelo Recursos: 4 Rezagos, 3 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
1	1
.7855583 + .3820641i	.873542
.7855583 - .3820641i	.873542
.00148177 + .8703584i	.87036
.00148177 - .8703584i	.87036
.2086223 + .8239991i	.849999
.2086223 - .8239991i	.849999
-.6195891 + .5763305i	.846196
-.6195891 - .5763305i	.846196
.4890067 + .6889359i	.844843
.4890067 - .6889359i	.844843
-.7557011 + .2570602i	.798226
-.7557011 - .2570602i	.798226
.7895314	.789531
-.3292516 + .6915709i	.765948
-.3292516 - .6915709i	.765948
-.7550497	.75505
.6865382 + .2593163i	.73388
.6865382 - .2593163i	.73388
-.1016543 + .6075005i	.615947
-.1016543 - .6075005i	.615947
.4525317	.452532
-.3802558	.380256
.3384125 + .1701787i	.378793
.3384125 - .1701787i	.378793

The VECM specification imposes 4 unit moduli.

Modelo Recursos: 4 Rezagos, 4 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
1	1
1	1
.8820934 + .35496i	.950834
.8820934 - .35496i	.950834
.2659183 + .8422785i	.883259
.2659183 - .8422785i	.883259
.861159	.861159
.5360892 + .6471737i	.840372
.5360892 - .6471737i	.840372
-.0325682 + .8254825i	.826125
-.0325682 - .8254825i	.826125
-.6116837 + .5489108i	.821864
-.6116837 - .5489108i	.821864
.7709456 + .2728562i	.817807
.7709456 - .2728562i	.817807
-.4156472 + .6888762i	.804558
-.4156472 - .6888762i	.804558
-.7419258 + .2641107i	.787533
-.7419258 - .2641107i	.787533
-.7679557	.767956
.00673855 + .7468696i	.7469
.00673855 - .7468696i	.7469
.2591853 + .5472178i	.605495
.2591853 - .5472178i	.605495
.5176905	.517691
-.3896389	.389639
.03871424	.038714

The VECM specification imposes 3 unit moduli.

Modelo Recursos: 4 Rezagos, 6 Rangos

Eigenvalue stability condition

Eigenvalue	Modulus
1	1
.9339278 + .2464537i	.965899
.9339278 - .2464537i	.965899
.8716505 + .373031i	.948117
.8716505 - .373031i	.948117
.2666193 + .8495585i	.890413
.2666193 - .8495585i	.890413
.8779037 + .04687816i	.879154
.8779037 - .04687816i	.879154
-.00738125 + .8649414i	.864973
-.00738125 - .8649414i	.864973
.6458509 + .5305765i	.835844
.6458509 - .5305765i	.835844
-.6146787 + .5652916i	.835096
-.6146787 - .5652916i	.835096
-.4072184 + .701954i	.811521
-.4072184 - .701954i	.811521
-.8063154	.806315
.3303263 + .7206999i	.792795
.3303263 - .7206999i	.792795
-.09838469 + .7821712i	.788335
-.09838469 - .7821712i	.788335
.5271996 + .5725239i	.778282
.5271996 - .5725239i	.778282
-.7247473 + .2438358i	.764666
-.7247473 - .2438358i	.764666
-.4303124 + .2189983i	.482834
-.4303124 - .2189983i	.482834

The VECM specification imposes a unit modulus.

Apéndice E

Salida de cada modelo ARDL con sus rezagos óptimos bajo el criterio de BIC

MODELO: Huella Ecológica

Optimal lag selection, % complete:

—|—20%—|—40%—|—60%—|—80%—|—100%

.....

BIC optimized over 49152 lag combinations

ARDL(1,3,1,0,0,0,0) regression

Sample: 1964 thru 2022

Number of obs = 59

R-squared = 0.5832

Adj R-squared = 0.4745

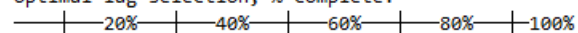
Log likelihood = 92.978543

Root MSE = 0.0567

D.Huella	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
ADJ						
Huella						
L1.	-.4860751	.1099426	-4.42	0.000	-.7073781	-.2647722
LR						
PIB	1.877802	.9787175	1.92	0.061	-.0922544	3.847858
PIB2	-.094547	.0354239	-2.67	0.010	-.1658517	-.0232423
Industria	-.2031277	.3404434	-0.60	0.554	-.8884048	.4821495
Agricultura	-.0416949	.1479	-0.28	0.779	-.3394022	.2560124
Servicios	-.2223091	.3491968	-0.64	0.528	-.9252058	.4805876
Comercio	.4911792	.2540224	1.93	0.059	-.0201413	1.0025
Precio	-.1690331	.1059863	-1.59	0.118	-.3823725	.0443063
SR						
PIB						
D1.	-1.736716	.7493964	-2.32	0.025	-3.245173	-.2282591
LD.	-.0499543	.0795032	-0.63	0.533	-.2099859	.1100774
L2D.	-.1673479	.066885	-2.50	0.016	-.3019804	-.0327153
PIB2						
D1.	.1239059	.051223	2.42	0.020	.0207993	.2270124
_cons	3.888668	2.388337	1.63	0.110	-.9188047	8.696141

MODELO: Gases Invernadero

Optimal lag selection, % complete:



BIC optimized over 49152 lag combinations

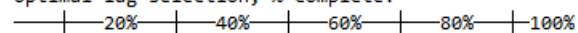
ARDL(1,0,0,0,0,0,0) regression

Sample: 1963 thru 2022 Number of obs = 60
 R-squared = 0.4203
 Adj R-squared = 0.3293
 Log likelihood = 43.592576 Root MSE = 0.1269

D. Invernadero	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
ADJ						
Invernadero L1.	-.718475	.1305284	-5.50	0.000	-.9805217	-.4564283
LR						
PIB	3.288666	1.024524	3.21	0.002	1.231848	5.345484
PIB2	-.1741339	.0455022	-3.83	0.000	-.2654833	-.0827845
Industria	-.0766943	.3435172	-0.22	0.824	-.7663338	.6129452
Agricultura	.2613049	.1658967	1.58	0.121	-.0717466	.5943565
Servicios	-.5399164	.3585573	-1.51	0.138	-1.25975	.1799175
Comercio	.0471716	.256472	0.18	0.855	-.4677175	.5620607
Precio	.1474262	.1281078	1.15	0.255	-.109761	.4046134
SR						
_cons	7.419263	3.370208	2.20	0.032	.6532878	14.18524

MODELO: Contaminantes Aire

Optimal lag selection, % complete:



BIC optimized over 49152 lag combinations

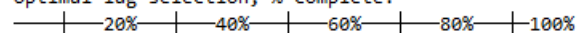
ARDL(1,0,0,0,0,0,0) regression

Sample: 1963 thru 2022 Number of obs = 60
 R-squared = 0.2609
 Adj R-squared = 0.1450
 Log likelihood = 86.720192 Root MSE = 0.0619

D.Aire	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
ADJ						
Aire L1.	-.1226096	.0931955	-1.32	0.194	-.3097074	.0644881
LR						
PIB	2.754456	3.365849	0.82	0.417	-4.002768	9.511679
PIB2	-.0942007	.1425906	-0.66	0.512	-.3804632	.1920619
Industria	.416864	1.072164	0.39	0.699	-1.735594	2.569322
Agricultura	.6075587	.4917937	1.24	0.222	-.3797585	1.594876
Servicios	-1.47841	1.894863	-0.78	0.439	-5.282507	2.325686
Comercio	-.0758404	.8113258	-0.09	0.926	-1.704645	1.552964
Precio	.0463896	.371482	0.12	0.901	-.6993917	.7921709
SR						
_cons	2.122401	2.256075	0.94	0.351	-2.406858	6.65166

MODELO: Energía Primaria

Optimal lag selection, % complete:



.....

BIC optimized over 49152 lag combinations

ARDL(1,0,1,1,0,1,0,0) regression

Sample: 1968 thru 2023

Number of obs = 56

R-squared = 0.6569

Adj R-squared = 0.5711

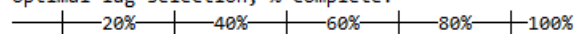
Root MSE = 0.0453

Log likelihood = 100.56661

D.Energia	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
ADJ						
Energia						
L1.	-.2218519	.1173804	-1.89	0.065	-.4584167	.0147128
LR						
PIB	-2.39768	1.44765	-1.66	0.105	-5.315227	.5198672
PIB2	-.0083207	.0736043	-0.11	0.911	-.1566603	.140019
Industria	.8034417	.5761906	1.39	0.170	-.3577943	1.964678
Agricultura	.8938738	.2521885	3.54	0.001	.3856213	1.402126
Servicios	1.192719	.4810172	2.48	0.017	.2232927	2.162146
Comercio	-.27641	.3659359	-0.76	0.454	-1.013905	.4610854
Precio	.0993985	.1789846	0.56	0.581	-.2613212	.4601183
SR						
PIB2						
D1.	.1095211	.0243072	4.51	0.000	.0605331	.158509
Industria						
D1.	-.2854946	.1201602	-2.38	0.022	-.5276615	-.0433277
Servicios						
D1.	-1.04177	.2383754	-4.37	0.000	-1.522184	-.5613557
_cons	-7.97244	5.822437	-1.37	0.178	-19.70679	3.76191

MODELO: Recursos Naturales

Optimal lag selection, % complete:



BIC optimized over 49152 lag combinations

ARDL(3,1,1,2,1,1,0,0) regression

Sample: 1973 thru 2021

Number of obs = 49

R-squared = 0.9564

Adj R-squared = 0.9347

Root MSE = 0.1242

Log likelihood = 43.121561

D.Recursos	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
ADJ						
Recursos L1.	-1.448107	.1359481	-10.65	0.000	-1.725024	-1.171189
LR						
PIB	4.190954	1.177556	3.56	0.001	1.792351	6.589557
PIB2	-.2835873	.0575131	-4.93	0.000	-.4007375	-.166437
Industria	1.169257	.3473542	3.37	0.002	.4617197	1.876795
Agricultura	.1309703	.1389026	0.94	0.353	-.151965	.4139056
Servicios	-.7263886	.258744	-2.81	0.008	-1.253433	-.1993442
Comercio	.429905	.2288492	1.88	0.069	-.0362455	.8960555
Precio	.4815658	.1126711	4.27	0.000	.2520623	.7110693
SR						
Recursos						
LD.	.5796948	.1030925	5.62	0.000	.3697022	.7896874
L2D.	.193141	.0742457	2.60	0.014	.0419074	.3443746
PIB						
D1.	-23.2791	4.676567	-4.98	0.000	-32.80496	-13.75325
PIB2						
D1.	1.01057	.1827986	5.53	0.000	.6382217	1.382919
Industria						
D1.	1.303363	.8677585	1.50	0.143	-.4642035	3.070929
LD.	-.8501922	.2359139	-3.60	0.001	-1.330733	-.3696513
Agricultura						
D1.	1.258592	.4655886	2.70	0.011	.3102192	2.206965
Servicios						
D1.	4.681711	1.772126	2.64	0.013	1.072007	8.291414
cons	-20.02625	7.372567	-2.72	0.011	-35.04368	-5.008821