



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Recinto Universitario “Rubén Darío”

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Departamento de Biología

Monografía para optar al título de Licenciados en Gerencia Ambiental y de los Recursos Naturales.

Evaluación empírica de la Curva Ambiental de Kuznets para las emisiones de dióxido de carbono per cápita considerando el efecto de la Ley No. 217 — Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales en Nicaragua, en el período de 1980-2014.

Autores: Br. Albert William Arostegui Moreno.

Br. Junieth Andrea Baltodano Jiménez.

Tutora: MSc. Leyla María Argüello Montiel.

Asesor: MSc. Oliver David Morales Rivas.

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2019

Agradecimiento

A Dios, quien, según Galileo, escribió al universo con el lenguaje de las matemáticas.

A mis padres, Ada Rosa Moreno y Marlon Arostegui por su apoyo incondicional.

A mis hermanos, en especial a mi hermano menor, Diego Samuel Arostegui por su apoyo.

A mi estimado cachorro Dumbo, ¿por qué no?, después de todo me acompañaba mientras hacía las tareas de la universidad.

Por último, se agradece a la tutora y a nuestro asesor, en especial al profesor Oliver Morales, ya que, prestó su valioso tiempo y disposición para revisar el presente trabajo.

Albert William Arostegui Moreno

Agradecimiento

Agradezco total y profundamente a Dios por haberme dado la fuerza para continuar cada día a lo largo de toda mi carrera, por darme su consuelo y su ayuda cuando más lo necesitaba, sobre todo en este duro proceso de mi trabajo monográfico, por brindarme la fuerza, la sabiduría y la inteligencia que requiero para finalmente culminar mi carrera universitaria con éxito.

Estoy completamente agradecida con mis padres, Duilio Baltodano e Ivania Jiménez, quienes han sido un pilar fuerte y fundamental en mi vida, gracias por el apoyo incondicional que me han otorgado con sus esfuerzos, por todos sus consejos sabios que enriquecen mi vida, por inculcarme valores y principios de honestidad, humildad, responsabilidad y lealtad, dando lo mejor como padres ejemplares.

Gracias a mis abuelos Damaris García y Alejo Baltodano (q.e.p.d), por los valores que me inculcaron cuando cuidaban de mí; a mi hermana Kariel Baltodano y a mi tío Douglas Baltodano, quienes han sido parte de este largo proceso y me extendieron su mano para brindarme su apoyo sincero.

Quiero agradecer especialmente a mi novio César Báez, quien es una de las personas más importantes en mi vida, gracias por tu paciencia, por tus consejos, por tu fe en mí, por regalarme tu entusiasmo en momentos difíciles y por proporcionarme tu apoyo a lo largo de toda mi carrera.

Finalmente, agradezco a mi compañero Albert, por el esfuerzo para concluir con éxito nuestra monografía. A nuestra tutora y asesor, por sus conocimientos para poder realizar este trabajo investigativo. Y en general, a todos aquellos con los que he podido colaborar a lo largo de mi carrera. A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, por ser mi alma mater.

“Esforzaos y cobrad ánimo; no temáis, ni tengáis miedo de ellos, porque Jehová tu Dios es el que va contigo; no te dejará, ni te desampará”. Deuteronomio 31:6

Junieth Andrea Baltodano Jiménez

Resumen

El eje principal de la presente investigación es comprobar el comportamiento de U invertida que plantea la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK) al relacionar, mediante modelos cuantitativos, indicadores de deterioro ambiental con indicadores de crecimiento económico para el caso de Nicaragua en el período de 1980 – 2014, considerando el efecto de la Ley No. 217 – Ley General del Ambiente y los Recursos Naturales, ya que, las políticas ambientales del país se basan de lo establecido en ésta.

Como indicador de deterioro ambiental se utilizó la variable de las emisiones de CO₂ per cápita (kg/hab), y el indicador de crecimiento económico fue el PIB per cápita (US\$ a precios corrientes); además, para capturar el efecto de la Ley No. 217 e incorporarlo en los análisis de regresión, se generó una variable binaria o dicotómica (0 de 1980 a 1996 y 1 de 1997 a 2014) y la interacción de ésta con el logaritmo natural del PIB per cápita.

Tanto al considerar a la variable dicotómica y al término de interacción en los modelos, como en el caso de no tomarlas en cuenta en los análisis de regresión, no se rechazó la CAK; sin embargo, la diferencia fue el ingreso por persona crítico, pues en el primer caso el umbral se alcanza con US\$1 202 y en el segundo, con US\$2 500. Esto era de esperarse, pues, si se considera que las leyes similares a la Ley No. 217 se establecieron con el fin de conservar y proteger al medio ambiente, entonces de ser eficaces, implica la atenuación del deterioro ambiental que provocarían las diferentes actividades económicas, siendo así, el costo para la remediación sería menor.

Índice de contenido.

I. Introducción.....	1
II. Planteamiento del problema.....	3
III. Justificación.....	4
IV. Objetivos.....	5
V. Marco referencial.....	6
5.1 Antecedentes.....	6
5.2 Marco teórico.....	9
5.2.1 Economía y medio ambiente.....	9
5.2.2 Economía: Convencional, ambiental y ecológica.....	11
5.2.3 Desarrollo sostenible.....	12
5.2.3.1 Principios y dimensiones de la sostenibilidad.....	12
5.2.4 Cambio climático y calentamiento global.....	13
5.2.5 Curva Ambiental de Kuznets (CAK).....	16
5.2.5.1 Efecto composición.....	19
5.2.5.2 Efecto desplazamiento.....	20
5.2.5.3 Desarrollo tecnológico.....	20
5.2.5.4 El medio ambiente como bien de lujo.....	21
5.2.5.5 Políticas ambientales.....	21
5.2.5.6 Críticas a la Curva Ambiental de Kuznets (CAK).....	23
VI. Preguntas directrices.....	25
VII. Diseño metodológico.....	26
7.1 Tipo de estudio.....	26
7.2 Definición y operacionalización de variables.....	27
7.3 Metodología para el análisis de datos.....	27
7.3.1 Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).....	28
7.3.2 Validación del modelo (Pruebas estadísticas).....	30
7.3.2.1 Criterio de Información de Schwarz (CIS).....	31
7.3.2.2 Prueba de cointegración: procedimiento de Engle – Granger.....	31
7.3.2.3 Prueba global F.....	34
7.3.2.4 Prueba individual t.....	35
7.3.2.5 Coeficiente de determinación R^2 y de Henry Theil (\bar{R}^2).....	36
7.3.2.6 Prueba de White para heterocedasticidad.....	36

7.3.2.7 Prueba de Breusch – Godfrey para autocorrelación	37
7.3.2.8 Prueba de Jarque – Bera para normalidad	38
7.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	39
VIII. Análisis de resultados	40
8.1 Descripción de las variables	40
8.1.1 PIB per cápita de Nicaragua	40
8.1.2 Ley No. 217 de Nicaragua	43
8.1.3 Emisiones de CO ₂ per cápita de Nicaragua	43
8.2 Modelos	47
8.2.1 Contrastes.....	50
IX. Conclusiones.....	55
X. Recomendaciones.....	56
XI. Bibliografía	57
XII. Anexos.....	61

Índice de figuras.

Figura 1. Factores de la producción en la economía convencional	10
Figura 2. Diagrama del efecto invernadero	14
Figura 3. Relación entre deterioro ambiental y crecimiento económico según la CAK. 17	
Figura 4. Etapas del desarrollo económico: relación entre deterioro ambiental y crecimiento económico	17
Figura 5. Posibles formas funcionales del modelo general de la CAK	19
Figura 6. Zonas de rechazo, no rechazo e indecisión para H_0 (presencia de autocorrelación)	33
Figura 7. PIB per cápita (US\$ precios constantes de 2010) de países latinoamericanos en el año 2018.....	41
Figura 8. Evolución del PIB per cápita (US\$) nominal de Nicaragua, 1980-2014	41
Figura 9. Correlograma del PIB per cápita (US\$) nominal de Nicaragua en logaritmos naturales	42
Figura 10. Representación de la molécula de CO_2	44
Figura 11. Emisiones de CO_2 de Nicaragua	45
Figura 12. Emisiones de CO_2 per cápita de Nicaragua, 1980-2014	46
Figura 13. Correlograma de las emisiones de CO_2 per cápita de Nicaragua en logaritmos naturales	46
Figura 14. Gráfico de las curvas estimadas	50
Figura 15. Distribución χ^2 para la prueba de heterocedasticidad aplicada al modelo con Ley No. 217 e interacción.....	52
Figura 16. Distribución χ^2 para la prueba de autocorrelación aplicada al modelo con Ley No. 217 e interacción	53
Figura 17. Distribución χ^2 para la prueba de Jarque – Bera aplicada al modelo con Ley No. 217 e interacción	54

Índice de tablas.

Tabla 1. Actividades con mayor participación porcentual en el PIB nominal	20
Tabla 2. Modelos sin considerar la Ley No. 217 y su interacción con el $\ln X_t$	47
Tabla 3. Modelos considerando la Ley No. 217 y su interacción con el $\ln X_t$	48
Tabla 4. Pruebas ADF sobre las variables a nivel y en primera diferencia	51
Tabla 5. Prueba ADF sobre los residuos del modelo [E2].....	51

I. Introducción.

¿El crecimiento económico implicaría un deterioro continuo y creciente sobre el medio ambiente? Si bien, la riqueza natural no necesariamente implica el desarrollo de los países, es un hecho que para mantener y/o incrementar el Producto Interno Bruto (en adelante PIB), se requiere de la transformación de insumos (sean obtenidos en el territorio o no) provenientes de la naturaleza; por ende, se deduce que las actividades económicas ejercen cierta presión sobre el medio ambiente, tomando en cuenta que éstas, además, generan residuos y emisiones tóxicas.

En cuanto a datos, por un lado, según un informe sobre el desarrollo mundial del Banco Mundial en el año 2000, los países industriales aportaron el 60% de todas las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía, específicamente en el año 1998 solo Estados Unidos emitió el 25%. Por otro lado, los resultados del Índice de Desempeño Ambiental¹ 2018 realizado por la universidad de Yale (2018), indican que los países desarrollados y con tradición de libre mercado tienen los mejores puntajes, siendo Suiza (87.42 puntos), Francia (83.95 puntos) y Dinamarca (81.6 puntos) los que encabezan la clasificación.

Entonces, no necesariamente el crecimiento económico implica inexorablemente un deterioro creciente de los ecosistemas o el medio ambiente. De hecho, la relación entre estos dos aspectos puede ser positiva a largo plazo, lo cual se puede fundamentar en los hallazgos empíricos de una correlación en forma de U invertida -entre el ingreso de un determinado país o región y las emisiones de diversos contaminantes ambientales-, comúnmente llamada Curva Ambiental de Kuznets (en adelante CAK) (Gitli & Hernández, 2002).

En el caso de Nicaragua, el país ha tenido un crecimiento desde 1993 a 2017, donde el sector primario aún tiene gran protagonismo en la estructura económica, específicamente las actividades agropecuarias. Siendo éstas las más señaladas de provocar problemas

¹ El Índice de Desempeño Ambiental considera 24 indicadores agrupados en 10 categorías: 1. Calidad del aire, 2. Agua y saneamiento, 3. Metales pesados, 4. Biodiversidad y hábitat, 5. Bosques, 6. Pesca, 7. Clima y energía, 8. Contaminación del aire, 9. Recursos hídricos y 10. Agricultura.

como la disminución de los bosques, contaminación de las aguas, emisiones de gases de efecto invernadero, degradación y erosión de los suelos, entre otros.

Dicho lo anterior, el propósito de la investigación es analizar la relación entre el crecimiento económico y las emisiones de dióxido de carbono (en adelante CO₂) per cápita mediante un análisis de regresión lineal múltiple, considerando la influencia de la Ley No. 217 – Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales en Nicaragua. De manera que, dados los resultados de las regresiones se comprobará la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets, es decir si se cumple o no el comportamiento de U invertida del indicador de deterioro ambiental seleccionado en función de las variables exógenas ya mencionadas.

II. Planteamiento del problema.

Según la literatura consultada, en las últimas décadas se han generado numerosos debates sobre la relación del crecimiento económico y las alteraciones que pueden provocar las distintas actividades humanas sobre los ecosistemas, en especial el cambio climático y el calentamiento global. Es evidente que el sistema climático del planeta Tierra es cíclico, así como, hay diferentes factores que pueden generar cambios sustanciales en el mismo; sin embargo, existe evidencia apuntando al ser humano como el principal responsable de los cambios a ritmos acelerados nunca antes vistos en la historia, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2015) así lo afirma con un 95% de confianza.

La principal causa de dichos fenómenos son las emisiones de gases de efecto invernadero como el CO₂, el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄), entre otros. Si bien, éstos son también emitidos de forma natural, investigaciones han demostrado que la influencia de las actividades humanas es significativa. De hecho, desde la revolución industrial se produjo un incremento en las concentraciones de estos gases sugiriendo una alta correlación con los procesos económicos (Rodríguez, Capa & Portela, 2004).

Cabe destacar que el impacto ambiental causado por los gases de efecto invernadero ha sido una continua fuente de preocupación durante las últimas décadas por la amenaza que representa para la estabilidad climática, la biodiversidad y, evidentemente, para el desarrollo económico (Cantos & Balsalobre, 2011).

Según los informes económicos “Nicaragua en Cifras” del Banco Central de Nicaragua (2010, 2013, 2015 y 2017), el soporte de la economía del país son los sectores agropecuarios, el comercio y la industria manufacturera. Dichas actividades pueden ser altamente contaminantes si no tienen una correcta gestión, pues emiten gases de efecto invernadero, además de otros daños ambientales potenciales tales como la deforestación, la contaminación del aire y del agua, la erosión, disminución de la biodiversidad, entre otros. No obstante, Nicaragua cuenta con la Ley No. 217 — Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, de la cual se basan las políticas y programas ambientales, es decir, existen medidas restrictivas que promueven la conservación y protección de los recursos naturales, pero de forma empírica se desconoce su influencia sobre la relación entre el crecimiento económico y la emisión del gas en estudio.

III. Justificación.

Según estadísticas² del Banco Central de Nicaragua, el país ha tenido un crecimiento económico desde 1993 hasta el 2017 en términos del PIB; no obstante, la estructura de actividades carece de cambios sustanciales siendo la industria manufacturera, el comercio y la agricultura los principales rubros. Éstas generan presión sobre el medio ambiente, por ello es de interés realizar un análisis empírico que relacione indicadores económicos con indicadores de degradación ambiental, además de tomar en cuenta las políticas ambientales.

Al constatar que dichos indicadores tienen un comportamiento como el planteado por la Curva Ambiental de Kuznets, esto implicaría un escenario positivo, ya que, a largo plazo lo propuesto por dicha hipótesis, sugiere un desarrollo sustentable no en detrimento del medio ambiente, demostrando una gestión eficaz al menos en lo que concierne a la disminución de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono. Por tanto, esta investigación puede suscitar interés a instituciones gubernamentales, a las cuales le compete el tema de la conservación y protección del medio ambiente en Nicaragua.

Asimismo, puede servir como base para otras investigaciones que aborden aspectos más específicos, por ejemplo: la correlación entre las exportaciones y el deterioro ambiental, realizar auditorías para evaluar el desempeño de instituciones que velan por el medio ambiente en el país, valorar el desempeño ambiental de Nicaragua o un departamento del país considerando determinados indicadores, entre otros.

Por otra parte, en los análisis realizados sobre la CAK en diferentes países el tema de las políticas ambientales es poco abordado, por lo general las investigaciones optan por otras variables. Además, en Nicaragua carecen los trabajos que analizan la relación del medio ambiente y el crecimiento económico considerando la legislación ambiental con la que cuenta el país; por tanto, resulta de interés tomar en cuenta este aspecto y determinar su influencia en los modelos estadísticos.

² Base de datos del Banco Central de Nicaragua (s.f.) sobre los *principales indicadores macroeconómicos*.

IV. Objetivos.

General: Evaluar empíricamente a la Curva Ambiental de Kuznets para las emisiones de dióxido de carbono per cápita considerando el efecto de la Ley No. 217 - Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales en Nicaragua, en el período de 1980-2014.

Específicos:

- Describir el indicador de deterioro ambiental y crecimiento económico.
- Comprobar la Curva Ambiental de Kuznets, mediante el modelo estadístico más significativo que explique el comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono per cápita debido al crecimiento económico.
- Comparar los escenarios que impliquen los modelos más significativos, al considerar o no el efecto de la Ley No. 217 — Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales en los análisis de regresión.

V. Marco referencial.

5.1 Antecedentes.

Uno de los primeros trabajos con el propósito de ofrecer pruebas empíricas de la hipótesis de una relación de U invertida entre la degradación ambiental y el crecimiento económico fue realizado por Theodore Panayotou en 1993, analizando datos de corte transversal de países desarrollados como Italia, Dinamarca, Francia, Canadá, Estados Unidos, entre otros, y con países en vías de desarrollo como Nicaragua, El Salvador, Honduras, Perú, Chile, Tailandia, Camerún, entre otros.

Como indicadores de deterioro ambiental, Panayotou consideró la tasa de deforestación, y las emisiones de gases como el dióxido de azufre, el óxido nitroso y partículas en suspensión. El PIB per cápita y la densidad poblacional son las variables exógenas, los datos son de la década de los años 80. En sus resultados, ninguna estimación de los modelos para cada indicador rechazó la hipótesis de la CAK, además se sugiere altas tasas de deforestación en países en vías de desarrollo tropicales, esto puede explicarse por las principales actividades de estos países, las cuales se basan de la agricultura o bien por el grado de dependencia de sus poblaciones del recurso.

El punto de inflexión tomando en cuenta también a los países desarrollados, informó que la tasa de deforestación disminuirá a partir de los US\$800 - US\$1 200. Por otro lado, dicho punto para las emisiones, se alcanza entre los US\$3 500 - US\$5 500 como ingreso per cápita.

Otro trabajo destacado fue realizado por Grossman y Krueger en 1995, quienes examinaron la relación entre la evolución del ingreso per cápita con cuatro indicadores de deterioro ambiental: contaminación del aire urbano, además de la contaminación fecal, estado del régimen de oxígeno y la contaminación por metales pesados en las cuencas hidrográficas de Estados Unidos. Para ello, realizaron un análisis con registros de diferentes ciudades (datos de panel), utilizando un método de mínimos cuadrados generalizado, ya que, si existen características en el lugar monitoreado que influyan en la contaminación, pero no se han incluido en las especificaciones como variables independientes, esto induciría problemas de correlación serial. Asimismo, incluyeron

otras variables para mejorar el análisis de contaminantes en el aire (posición de la estación, cercanía de la ciudad a costas y desiertos, entre otras) y en el agua.

En el estudio mencionado, los investigadores encontraron un comportamiento de U invertida entre el PIB per cápita e indicadores de contaminación del aire (humo y partículas pesadas), excepto para el dióxido de azufre, que a niveles altos de ingresos vuelve a crecer, y por tanto su gráfica tiene forma de N. En cuanto a la calidad del agua, no se rechazó la CAK con tres indicadores seleccionados: nitratos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), así como en las variables de contaminación fecal; sin embargo, para el oxígeno disuelto la relación que describen es de una U.

Por otro lado, en la contaminación de ríos por presencia de metales pesados, encontraron una relación de U invertida con la cantidad de arsénico y los ingresos por persona, con el plomo hay una relación decreciente y con el cadmio, prácticamente es una plana con un ligero abultamiento hacia arriba. En consecuencia, los investigadores concluyeron que no hay evidencia sobre la afirmación de un continuo deterioro ambiental debido al crecimiento económico. En cuanto al punto de inflexión, para los diferentes contaminantes tomados en cuenta varía; sin embargo, en la mayoría de los casos ocurre antes de que se alcance un ingreso per cápita de US\$8 000.

Un estudio realizado por Cantos y Balsalobre en 2011, tuvo como objetivo verificar el comportamiento de U invertida entre indicadores de crecimiento económico y deterioro ambiental para España, incorporando una variable que asocia el consumo de energía renovables con el consumo de energía convencional en el período 1990-2008. En este trabajo, las variables dependientes fueron las emisiones de gases de efecto invernadero (en adelante GEI) y la demanda biológica de oxígeno (DBO), por otro lado, como variables independientes consideraron al PIB per cápita a precios constantes (año base 2000), el coeficiente de GINI y la razón entre el consumo de energía renovables (ER) y las energías convencionales (EC) para obtener un contraste empírico sobre la promoción de energías renovables.

Para los modelos de las emisiones de GEI, primero sin considerar la razón entre el consumo de energía renovables y el consumo de energía convencional no se rechazó el comportamiento de U invertida de la CAK, obteniendo un ingreso per cápita crítico de

€16 456.76. Por otra parte, con el modelo considerando a dicha variable, tampoco se rechazó la hipótesis de la CAK, sin embargo, en este caso el punto de inflexión se alcanza con €18 053.79 por persona, siendo un mayor umbral en comparación con el otro, esto se explica por el esfuerzo que supone para los consumidores la incorporación de fuentes renovables al patrón de consumo energético.

En cuanto al modelo para la DBO, los coeficientes del PIB per cápita y PIB per cápita al cuadrado no fueron significativos para una significancia del 5%, así como los del índice de GINI y la razón ER/EC. Lo cual era de esperarse, ya que la relación entre la calidad del agua y el PIB per cápita debe ser diferente en comparación con la contaminación del aire, pues sus focos también difieren. Se debe considerar que una de las principales causas del déficit de oxígeno en el agua, es el tratamiento inadecuado de residuos urbanos, siendo esto más frecuente en países con economías en vías de desarrollo.

5.2 Marco teórico.

5.2.1 Economía y medio ambiente.

La economía estudia el comportamiento humano en el aspecto de las elecciones que hacen los individuos, empresas, gobiernos y las sociedades para afrontar la escasez, así como los incentivos que influyen en sus decisiones (Parkin, 2009). Adam Smith, considerado el padre de la economía como ciencia, en su libro “La riqueza de las naciones” publicado en 1776, ya sugería que para comprender de la mejor manera los procesos económicos se debe tomar en cuenta la conducta del ser humano y sus motivaciones.

Para Smith, el humano es racional, egoísta, naturalmente motivado por el deseo de libertad, el sentido de propiedad, el trabajo y la tendencia al intercambio, por tanto, cada individuo conoce bien sus intereses y debe tener la libertad de satisfacerlos, de manera que mientras consiga su propio bienestar, generará el bien común incluso si no está en sus planes (la mano invisible). Lo anterior describe los preceptos en los cuales se desarrollaron las teorías de la escuela clásica de economía (Malthus, Ricardo y otros) con sus diferentes matices. De hecho, se ignoraba el papel del medio ambiente más allá de ser objeto de explotación y un limitante para el crecimiento (Gómez, 2003).

Cabe aclarar que cuando los “clásicos” propusieron sus modelos, en la época, la termodinámica aún no se había consolidado como una ciencia, pero esto no aplica para autores como Marx, ni a otros economistas como Walras y Jevons, dando a entender como los académicos en dicha materia, a pesar de los hechos científicos, dejaban de lado al medio ambiente en sus análisis (Martínez, 1998).



Figura 1. Factores de la producción en la economía convencional.

Elaboración propia basada en Van Hauwermeiren, 1999.

Según la literatura consultada, las consideraciones sobre la relación del medio ambiente y los procesos económicos fueron tomando relevancia en años recientes. Aún en la década de los 70 los economistas creían que el crecimiento económico podía mantenerse de forma indefinida; sin embargo, este tipo de pensamiento se fue atenuando entre los académicos desde los años 60 debido a la contaminación ambiental, la cual se extendió e intensificó por las condiciones dadas en las sociedades, tanto en el aspecto industrial como demográfico, siendo éstos desordenados en la explotación de recursos no renovables y carecían de una planificación estatal apropiada (Gómez, 2003).

La economía ambiental surge como una reacción contra los preceptos convencionales de la economía, puesto que, un grupo de académicos con ideología ecológica deseaba cambiar los fundamentos básicos del sistema tradicional de la investigación económica (Gómez, 2003).

Las actividades económicas requieren de insumos que provienen del medio ambiente, así como toda actividad genera residuos. Esto es evidente, el ser humano no tiene capacidad de crear en términos estrictos, sino más bien, por sus capacidades lógicas e inventivas transforma y/o modifica la estructura de la materia para construir objetos que son de interés para sí mismos u otros con el fin de intercambiarlo, generando desechos en el proceso. De ahí se sigue que la economía en definitiva necesita de la naturaleza para funcionar; no obstante, le afecta. Según Van Hauwermeiren (1999), los factores más importantes en el impacto ambiental por las actividades económicas, son los siguientes:

- El tamaño y la escala de la economía.
- La estructura de la economía.

- La tecnología.
- El marco social e institucional.

Los economistas neoclásicos, sugieren que, en cuanto al tema de la degradación de la calidad ambiental, no solo se debe considerar las externalidades de las actividades económicas, sino también, los esfuerzos para reparar los daños. El estado del medio ambiente puede ser determinado por los efectos de las externalidades, así como, a la vez por el nivel de oferta de servicios públicos destinados para su mantenimiento. A nivel general, la calidad del medio ambiente está en función de las decisiones individuales, privadas y la acción colectiva, la cual se traduce en el sector público (Gómez, 2003).

5.2.2 Economía: Convencional, ambiental y ecológica.

La economía tradicional o convencional enfoca su análisis en los precios de los mercados, no obstante, las transacciones y/o actividades que se realizan en el mercado no solo se limita a las partes involucradas en ellas. Esto se deduce teniendo en cuenta que éstos son sistemas económicos en donde se responden los problemas de a quién, cómo y qué producir a través del mecanismo de la oferta y la demanda, de manera que el ser humano debe manejar los recursos de la forma más adecuada (Graue, 2009). Por tanto, el mercado se abstrae de la sociedad y la biósfera, pero estas cuestiones no se consideran en la economía tradicional (Van Hauwermeiren, 1999).

La economía ambiental es la respuesta que ofrece la economía convencional, se enfoca en tratar de internalizar las externalidades ambientales en los precios (por ejemplo: *impuestos pigouvianos*), sin considerar cuestiones éticas o distributivas (Van Hauwermeiren, 1999).

En cambio, la economía ecológica es una disciplina que considera a la escala de la economía dependiente de las limitantes establecidas por las características de los ecosistemas, y que el patrimonio natural no es sustituible por el capital hecho por el humano. Por ende, se propone como alternativa medir la sustentabilidad ecológica, asimismo, el desarrollo de indicadores biofísicos en vez de indicadores monetarios (Van Hauwermeiren, 1999).

Por tal razón, la economía ambiental se aproxima más a la crematística, mientras que la economía ecológica se inclina hacia un enfoque de *oikonomía* (Van Hauwermeiren, 1999), es decir:

1. Visión a largo plazo.
2. Considera los costos y beneficios de toda la comunidad.
3. Valor de uso y la acumulación limitada que implica.

5.2.3 Desarrollo sostenible.

En general, como desarrollo se entiende mejorar la calidad de vida de las personas, esto implica aspectos como la salud, educación, garantizar los derechos políticos y civiles, además de un manejo racional de los recursos naturales. Por otro lado, aunado con el concepto de sostenible o sustentable, hace referencia, a que el desarrollo sea estable y que no perjudique el bienestar de las futuras generaciones.

Una definición oficial ha sido propuesta por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD, 1993, citado en Estrella & González, 2014), la cual define al desarrollo sostenible (o sustentable) como aquel que satisface las necesidades del presente sin poner en riesgo las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

5.2.3.1 Principios y dimensiones de la sostenibilidad.

Según Estrella y González (2014) para explicar el desarrollo sostenible en términos concretos se establecieron los siguientes principios:

1. En la naturaleza todo se recicla y nada se acumula.
2. El desarrollo de los organismos se basa en el uso de recursos naturales renovables y en el flujo de la energía solar.
3. La biósfera es una coevolución de todos los seres vivos en la que estos tienden a formar paulatinamente nuevos niveles de organización, que sustenten una mejor funcionalidad.

En el informe *Brundtland* (1987, citado en Estrella & González, 2014) se empieza a ver al planeta como un sistema global, en donde sus partes están interrelacionadas basándose

en el concepto de desarrollo sostenible, como un proceso multidimensional que afecta a los sistemas económico, ecológico y social.

A continuación, se describe la sustentabilidad en los sistemas o dimensiones ya mencionados.

Escenario económico: En esta dimensión, toda actividad económica debe demostrar su sustentabilidad ecológica, la cual se define como la capacidad de un ecosistema de mantener su estado en el tiempo, conservando para ello los parámetros de volumen, tasas de cambio y circulación invariables, o que dichos parámetros varíen cíclicamente entorno a promedios (Estrella & González, 2014).

Escenario social: En cuanto lo social, la sustentabilidad se alcanza cuando los costos y beneficios se distribuyen de forma equitativa, tanto en la población actual como futura (Estrella & González, 2014).

Escenario natural: Para lograr la sostenibilidad en este aspecto, depende de la capacidad y disposición de los actores institucionales y económicos mantener la calidad ambiental a largo plazo. Se debe vigilar variables como la biodiversidad, los suelos, el agua y la flora, los cuales en cortos períodos determinan la productividad (Estrella & González, 2014).

5.2.4 Cambio climático y calentamiento global.

En primer lugar, es necesario aclarar que los conceptos de *cambio climático* y *calentamiento global*, si bien están estrechamente relacionados, usualmente se toman de manera errónea como sinónimos.

De acuerdo a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, s.f.) el cambio climático está relacionado con la variación del estado del clima de la Tierra, lo cual es un fenómeno natural que comprende modificaciones en temperatura, precipitación, patrones de viento, entre otros efectos. De igual forma es atribuido directamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera terrestre.

El cambio climático es ocasionado por el calentamiento global, en otras palabras, por el alza de la temperatura media del planeta provocado por el creciente aumento de las

emisiones de gases de efecto invernadero derivadas principalmente de la acción del ser humano.

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2006), los principales gases de efecto invernadero son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los halocarbonos y otros gases. Éstos, en sus proporciones adecuadas, cumplen la vital función de crear el efecto invernadero, el cual es un proceso natural en la atmósfera que consiste en que la luz solar que llega a la tierra, al tomar contacto con el suelo, el agua, las nubes, entre otros, se refleja solo en parte hacia la atmósfera, en forma de radiación infrarroja, siendo el resto absorbida por los gases presentes. El efecto de esta absorción es un calentamiento, de modo que permite a la Tierra mantener las condiciones para albergar vida.

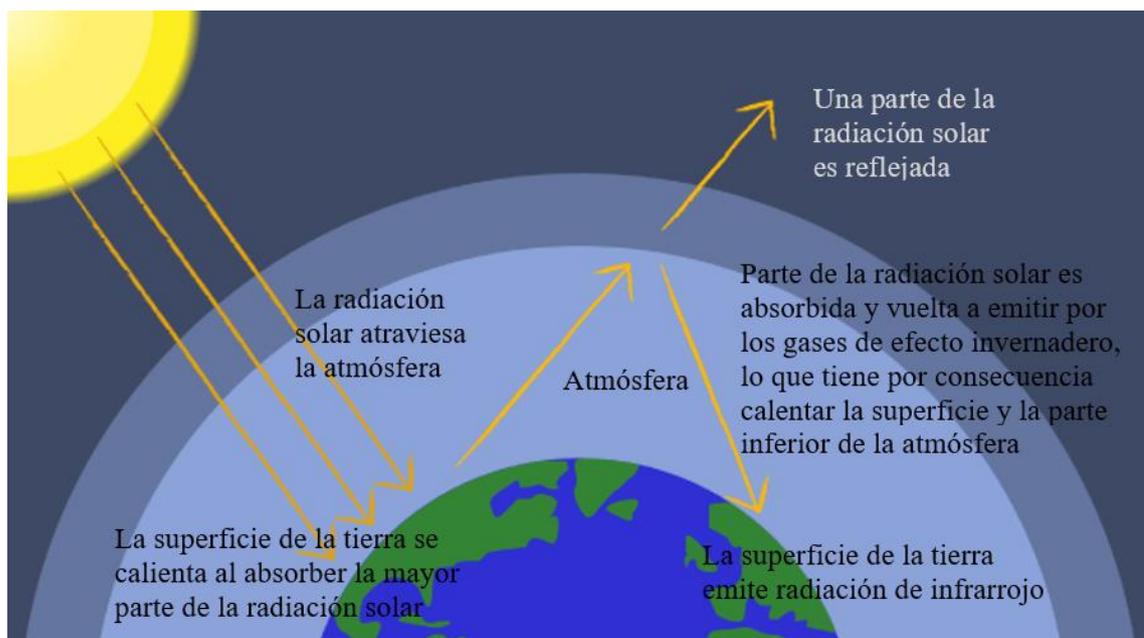


Figura 2. Diagrama del efecto invernadero.

Elaboración propia.

El problema no reside en la presencia y comportamiento de estos gases, que resultan fundamentales para la vida, sino en el hecho de que los principales gases de efecto invernadero (con la excepción del vapor de agua) están aumentando en gran medida como resultado directo de las actividades humanas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2006).

El IPCC (2015) afirma que las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero dependen principalmente de la población, el estilo de vida, las actividades económicas producidas en el ámbito industrial, agrícola y transporte, el uso de la energía, el uso del suelo, la tecnología y además de otros factores determinantes.

Las emisiones de CO₂ se liberan especialmente de la quema de combustibles fósiles tales como el carbón, petróleo y gas natural. Por otra parte, el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) debido a la agricultura, la descomposición de la materia orgánica y a los cambios en el uso de la tierra y los clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidrocarburos perfluorados (PFC) son originados por productos ofrecidos por las industrias. De esta manera, el efecto invernadero que se origina de forma natural es superado por el impacto de las prácticas que comprenden las actividades humanas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2006).

El CO₂ se encuentra naturalmente en la atmósfera, pero la combustión de carbón, petróleo y gas natural está liberando el carbono almacenado en estos combustibles fósiles a una velocidad acelerada. Además, los bosques actúan como sumideros de carbono y cuando estos son quemados se libera el carbono almacenado por los árboles; asimismo, la tala de bosques, la respiración animal y otras causas, incrementan los niveles de concentración de esta molécula en la atmósfera (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2006).

Por otra parte, la constante emisión de gases de efecto invernadero causará un mayor calentamiento en la atmósfera terrestre; asimismo, cambios duraderos o permanentes en todos los elementos del sistema climático, con lo que incrementarán las posibilidades de impactos aún más graves e irreversibles para las personas en su conjunto, igualmente podría desestabilizar el equilibrio ecológico del planeta y afectar el desarrollo económico y social de todos los países del mundo. Para contener el cambio climático es necesario reducir de forma sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual, junto con la adaptación, puede limitar los riesgos del cambio climático (IPCC, 2015).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 2007) es el principal instrumento jurídico internacional centrado en afrontar el cambio

climático y estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Esta Convención ha sido ratificada por 197 países, conformando partes de la misma.

Desde 1997 las naciones implicadas negociaban una considerable ampliación de la Convención, donde los países por primera vez adquirieron compromisos concretos contra el cambio climático, esto devino en el Protocolo de Kyoto, el cual entró en vigor en el 2005. Éste establece jurídicamente que los países industrializados que lo adoptaron deben cumplir la meta de limitar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar perturbaciones peligrosas de carácter antropogénico en el sistema climático. El primer período de compromiso del Protocolo fue de 2008 - 2012, y el segundo período abarca desde el año 2013 y concluirá en 2020. Hoy en día 192 países son parte del Protocolo de Kyoto (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2007).

El Acuerdo de París se aprobó en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el 2015 y entra en vigor en el año 2016. Se alcanzó un acuerdo en el que se establece un objetivo a largo plazo de mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2° C con respecto a los niveles preindustriales, persistiendo en los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1.5° C, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático. Actualmente existen 184 países que se han sumado a este acuerdo (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático & Unión Europea, 2016).

5.2.5 Curva Ambiental de Kuznets (CAK).

La Curva Ambiental de Kuznets, es una extensión del trabajo de Simon Kuznets, Premio Nobel de economía quien formuló la curva de Kuznets para analizar el vínculo entre el desarrollo y la desigualdad. La hipótesis de la CAK plantea que la relación entre indicadores de desarrollo económico (usualmente el PIB per cápita) e indicadores de deterioro ambiental tiene una forma de U invertida, lo cual implica que el crecimiento económico en las primeras etapas de desarrollo impacta de forma negativa al medio ambiente; es decir, aumenta el deterioro ambiental, pero a largo plazo, alcanzará un máximo y a partir de cierto nivel de ingreso crítico esta tendencia decaerá (Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente, 2011).

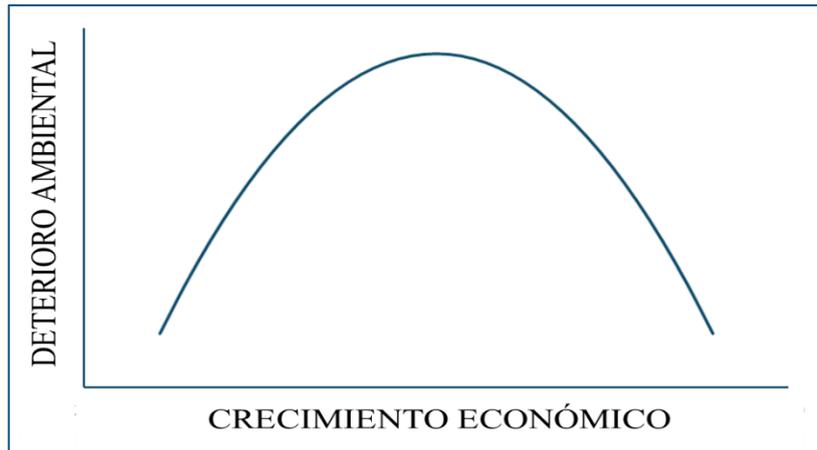


Figura 3. Relación entre deterioro ambiental y crecimiento económico según la CAK.

Elaboración propia.

Panayotou (2003) explica que a medida que la agricultura y la extracción de recursos se intensifique; así como, la etapa de industrialización este en sus primeras fases, esto provocará un aceleramiento en el agotamiento de recursos y la generación de desechos. No obstante, a niveles altos de desarrollo, cambios estructurales dirigidos a una composición de industrias basadas en la información y en servicios, una tecnología más eficiente y una mayor demanda de calidad ambiental, resultará en una nivelación y disminución constante de la degradación ambiental.

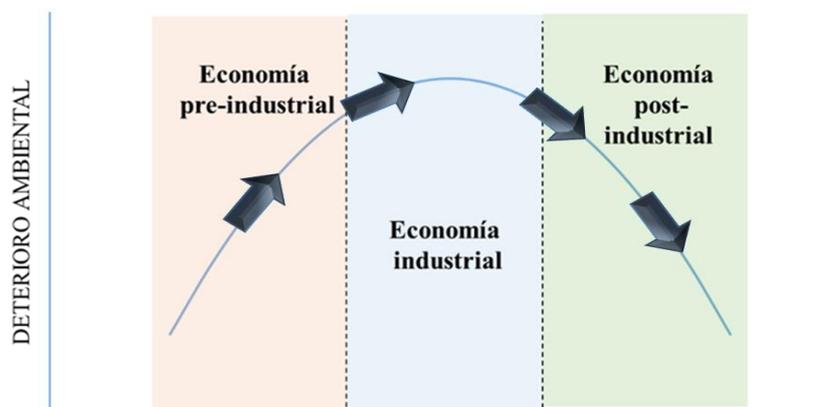


Figura 4. Etapas del desarrollo económico: relación entre deterioro ambiental y crecimiento económico.

Elaboración propia basada en Panayotou, 2003.

Según Grossman y Krueger (1995), la especificación general para definir a la CAK es la siguiente:

$$E_t = a + bX_t + cX_t^2 + dX_t^3 + \sum_{i=1}^m \beta_i Z_{i,t} + \varepsilon_t \quad [1]$$

Donde:

E : Indicador de deterioro ambiental (puede ser medido a nivel o en logaritmos naturales).

X : Indicador de crecimiento económico (puede ser medido a nivel o en logaritmos naturales).

Z : Conjunto de variables que pueden incidir en el deterioro ambiental (políticas, densidad poblacional, consumo de energía, entre otras).

t : Relativo a los años.

a, b, c, d y β_i : Coeficientes de regresión.

ε : Término de error o perturbación.

De la función [1], se siguen los casos:

1. Si $b=c=d=0$ significa que el crecimiento económico no tiene influencia sobre el indicador de deterioro ambiental.
2. Si $b>0$ y $c=d=0$ existe una relación directa entre el indicador de crecimiento y el indicador de deterioro ambiental, es decir, si el primero crece (decrece) también el segundo crece (decrece).
3. Si $b<0$ y $c=d=0$ existe una relación inversa entre el indicador de crecimiento y el indicador de deterioro ambiental, es decir, si el primero crece (decrece) entonces el segundo decrece (crece).
4. Si $c<0$ y $d=0$ el comportamiento corresponde a lo planteado por la CAK (U invertida).
5. Si $c>0$ y $d=0$ la relación tendrá forma de parábola cóncava hacia arriba.
6. Si $b>0, c<0$ y $d>0$, hay una relación similar a la CAK; sin embargo, el comportamiento de N implica que a largo plazo el deterioro ambiental aumentará.
7. Si $d<0$ significa que hay una relación decreciente, en el caso de haber máximo y mínimo local, el comportamiento será similar a lo planteado por la CAK; además, implicaría que, debido al crecimiento económico a largo plazo, el deterioro ambiental decrecerá.

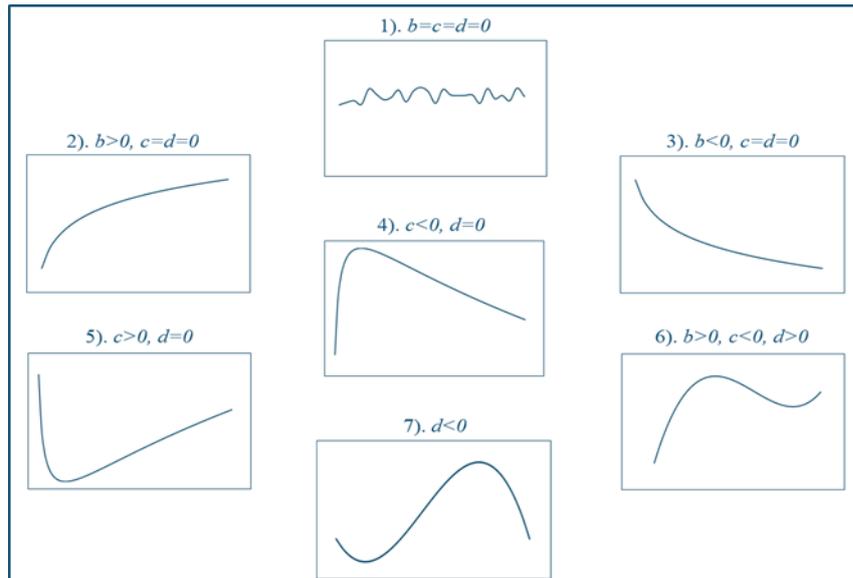


Figura 5. Posibles formas funcionales del modelo general de la CAK.

Elaboración propia.

5.2.5.1 Efecto composición.

El efecto composición o estructura de actividades económicas hace referencia a que a medida que un país desplaza su economía hacia un mayor desarrollo, la agricultura como otras actividades del sector primario ceden su espacio al industrial. Si gradualmente el nivel de industrialización se acelera, el sector servicio adquiere una mayor importancia en la estructura productiva (Gitli & Hernández, 2002).

Los países desarrollados luego de alcanzar un gran nivel de industrialización, tienden a dirigir sus economías hacia el sector terciario, con lo cual disminuye el peso del sector industrial en la formación de productos, pasando a adquirir los bienes manufacturados que consumen desde los países en vías de desarrollo (Gitli & Hernández, 2002).

Esto sugiere que el desplazamiento al sector terciario disminuiría la emisión de contaminantes, ya que la industria es la principal consumidora de energía y afecta a los ecosistemas con sus emisiones tóxicas (Rothman, 1998, citado en Gitli & Hernández, 2002).

Tabla 1. Actividades con mayor participación porcentual en el PIB nominal.

Actividad económica	2006	2008	2010	2012 (preliminar)	2014 (preliminar)	2016 (preliminar)	2017 (estimado)
Agricultura	10.1	9.9	9.7	*16.5	9	7.7	8
Comercio	16.7	16.9	16.6	*12.6	11.6	11	10.9
Industria manufacturera	19.1	19.4	19.9	16.3	14.1	13.8	13.7
Pecuario	7.1	7.2	8	-	6.3	5.5	5.5
Transporte y comunicaciones	7.5	7.8	8	6.2	5.1	5.4	5.3

Elaboración propia basada en datos del Banco Central de Nicaragua del 2010, 2013, 2015 y 2017.

Nota: El dato con asterisco para la agricultura en el año 2012 incluye la silvicultura, ganadería y pesca. El dato con asterisco para comercio indica que también contiene información sobre actividades hoteleras y de restaurantes.

En lo que respecta a Nicaragua, los principales rubros económicos son la industria manufacturera, el comercio y la agricultura, donde las tres en el año 2016 por ejemplo, sumaron conjuntamente 32.5% del PIB, dejando a entrever su relevancia. Como se puede observar en la tabla 1, en los últimos años prácticamente la estructura económica es rígida, en otras palabras, no hay cambios sustanciales.

5.2.5.2 Efecto desplazamiento.

La globalización ha propiciado el aumento del flujo internacional de mercancías y acentúa la división internacional del trabajo, de manera que los países en vías de desarrollo tienden a aumentar las exportaciones de bienes manufacturados hacia las potencias, mientras que éstas se caracterizan por la producción y exportación de servicios y conocimiento, registrando una disminución de emisiones de ciertos contaminantes (Gitli & Hernández, 2002).

En otras palabras, la tendencia de los países desarrollados a ofrecer servicios y conocimientos técnicos implica una reducción en los contaminantes, ya que la presión a los ecosistemas que ejercen las industrias disminuye; sin embargo, los países en vías de desarrollo, debido a la expansión del sector industrial aumentan sus niveles de contaminación.

5.2.5.3 Desarrollo tecnológico.

El progreso tecnológico es otro argumento que se ofrece para explicar el comportamiento propuesto por la CAK. La adquisición de tecnologías más eficientes puede disminuir la cantidad de insumos para las mismas (o más) unidades de bienes producidos. Por otro lado, puede sustituir otras tecnologías las cuales provocan un mayor impacto al medio

ambiente. En definitiva, los cambios tecnológicos aunados a una mejor comprensión de la relación entre las actividades económicas y la degradación ambiental permiten a los países desarrollarse de forma más rápida con menores afectaciones en los ecosistemas (Banco Mundial, 1992).

5.2.5.4 El medio ambiente como bien de lujo.

Si aumentan los ingresos, también lo hará la demanda de mejoras de calidad ambiental y los recursos disponibles para inversiones destinadas a ese fin. En ciertos casos, el deterioro ambiental disminuye con el aumento de los ingresos; ya que, éstos permiten a la sociedad proporcionar servicios públicos como saneamientos, además si los individuos satisfacen sus necesidades básicas están más dispuestos a realizar inversiones para la conservación del medio ambiente (Banco Mundial, 1992).

5.2.5.5 Políticas ambientales.

El objetivo de las políticas de desarrollo y ambientales es la de mantener y/o aumentar el nivel de bienestar. En general, ocurre que el deterioro ambiental de los países disminuye como consecuencia de las regulaciones implementadas en lo que concierne al tema del medio ambiente (Banco Mundial, 1992). Esto se explica por la inducción al individuo o ente a considerar las externalidades de su actividad económica debido a que puede representarle pérdida de dinero, la clausura parcial o definitiva de su establecimiento o bien ser inhabilitado para seguir realizando la actividad.

En la mayoría de países desarrollados se establecen políticas ambientales más estrictas, probablemente por su capacidad económica, tecnológica y científica que les permite ejecutarlas, además de las preocupaciones de sus ciudadanos por una normativa que respalde la conservación y cuidado del medio ambiente (Gitli & Hernández, 2002).

Las políticas y programas ambientales en Nicaragua se basan principalmente de la ley No. 217 — Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, la cual se aprobó el 27 de marzo de 1996 y fue publicada por La Gaceta, Diario Oficial No. 105 el 6 de junio del mismo año (Ley No. 217, 1996).

En el artículo 1 de la *Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales* (1996), se expone que el objeto de la ley es establecer las normas para la conservación, protección,

mejoramiento y restauración del medio ambiente y los recursos naturales, según lo señalado en la Constitución Política de Nicaragua.

A continuación, se hace énfasis en los siguientes artículos presentes en el texto de la Ley No. 217 — Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales con sus reformas³ incorporadas (2014):

Artículo 3.- Son objetivos particulares de la presente Ley:

- 1). La prevención, regulación y control de cualquiera de las causas o actividades que originen deterioro del medio ambiente y contaminación de los ecosistemas.
- 3). La utilización correcta del espacio físico a través de un ordenamiento territorial que considere la protección del ambiente y los recursos naturales como base para el desarrollo de las actividades humanas.

Artículo 4.- El desarrollo económico y social del país se sujetará a los siguientes principios rectores:

- 1). El ambiente es patrimonio común de la nación y constituye una base para el desarrollo sostenible del país.
- 2). Es deber del Estado y de todos los habitantes proteger los recursos naturales y el ambiente, mejorarlos, restaurarlos y procurar eliminar los patrones de producción y consumo no sostenibles.
- 3). El criterio de prevención prevalecerá sobre cualquier otro en la gestión pública y privada del ambiente. No podrá alegarse la falta de una certeza científica absoluta como razón para no adoptar medidas preventivas en todas las actividades que impacten el ambiente.
- 6). La libertad de los habitantes, en el ámbito de las actividades económicas y sociales, está limitada y condicionada por el interés social, de conformidad con las disposiciones de la Constitución Política, la presente Ley y las leyes ambientales especiales vigentes o que se dicten en el futuro.
- 8). El principio de precaución prevalecerá sobre cualquier otro en la gestión pública y privada del ambiente. El Estado tomará medidas preventivas en caso de duda sobre el impacto o las consecuencias ambientales negativas de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño.

Artículo 13.- Las instancias responsables de la formulación y aplicación de la Política Ambiental, de las normas técnicas y demás instrumentos previstos en la legislación, observarán los siguientes principios:

- 1). Del equilibrio de los ecosistemas dependen la vida y las posibilidades productivas del país.

³ Es decir, se considera a la Ley No. 647 — Ley de Reformas y Adiciones a la Ley No. 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, aprobada el 13 de febrero del 2008 y publicada en La Gaceta, Diario Oficial No. 62 el 3 de abril del mismo año.

2). Los ecosistemas y sus elementos deben ser aprovechados de manera que se asegure una productividad óptima y sostenida, compatible con su equilibrio e integridad.

8). La explotación óptima de los recursos naturales no renovables evita la generación de efectos ecológicos adversos.

Artículo 18.- El establecimiento y declaración legal de áreas naturales protegidas, tiene como objetivo fundamental:

3). Favorecer el desarrollo de tecnologías apropiadas para el mejoramiento y el aprovechamiento racional y sostenible de los ecosistemas naturales.

6). Favorecer la educación ambiental, la investigación científica y el estudio de los ecosistemas.

7). Promover el desarrollo local sostenible fomentando la implementación de procesos y tecnologías limpias para el mejoramiento y el aprovechamiento racional y sostenible de los ecosistemas naturales.

8). Potenciar de forma sistémica los servicios ambientales que proveen las áreas protegidas para el beneficio de los habitantes de la zona, la economía nacional y el desarrollo sostenible.

Artículo 122.- Serán objeto de normación y control por las autoridades competentes, todos los procesos, maquinaria y equipos, insumos, productos y desechos, cuya importación, exportación uso o manejo pueda deteriorar el ambiente o los recursos naturales o afectar la salud humana.

Artículo 124.- Las personas naturales o jurídicas responsables de una actividad que por acciones propias o fortuitas han provocado una degradación ambiental, tomarán de inmediato las medidas necesarias para controlar su efecto y notificará a los Ministerios del Ambiente y Recursos Naturales y de Salud.

Artículo 132.- El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, en coordinación con el Ministerio de Construcción y Transporte y la Policía Nacional, reglamentará el control de emisiones de gases contaminantes provocados por vehículos automotores (pp. 786, 789-790, 799).

Se hace especial mención al artículo 60 de la Ley No. 647 — Ley de Reformas y Adiciones a la Ley No. 217, “Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales” (2008), pues en este se establece que el Poder Ejecutivo deberá formular e impulsar una Política de Adaptación al Cambio Climático.

5.2.5.6 Críticas a la Curva Ambiental de Kuznets (CAK).

Una de las principales críticas a los estudios de la Curva Ambiental de Kuznets es sobre los indicadores de deterioro ambiental que se utilizan. Se argumenta que, como tal, los datos sobre emisiones de gases y otros contaminantes por sí mismos no informan el estado del medio ambiente o su efecto sobre éste, por tanto, se sugiere hacer análisis sobre las concentraciones (Gitli & Hernández, 2002).

Por otra parte, los estudios presentan evidencia contradictoria. Se ha encontrado un comportamiento de U invertida en la mayoría de contaminantes del aire, pero con puntos de inflexión dispares entre sí, lo cual indica que habrá casos donde los países no alcanzarán la disminución del indicador con los niveles recomendados por organismos internacionales. También, en ciertos trabajos se ha encontrado una relación en forma de N (caso 6), sugiriendo que a largo plazo el crecimiento económico por sí solo no es capaz de mantener la tendencia decreciente del contaminante, donde incluso éste incrementará sus niveles nuevamente. Si el modelo resulta ser significativo, es muy probable la ocurrencia de dicho escenario (Gitli & Hernández, 2002).

Por otro lado, los efectos por los cuales se puede dar el comportamiento de CAK no son una garantía. Para ejemplificar, el hecho de que las personas tengan un mayor ingreso, no implica automáticamente el incremento en la demanda de un medio ambiente saludable, pues la evidencia es controvertida, ya que hay estudios que son positivos, otros negativos y hasta inconcluyentes (Gitli & Hernández, 2002).

Se ofrece como contraargumento a las críticas, que los efectos mencionados que explican el comportamiento de la CAK deben ser acompañados por campañas o políticas destinadas a la fomentación de la educación ambiental. Siendo así, es más probable que los sujetos económicos demanden una mejor calidad del medio ambiente al “crear” una consciencia, donde incluso puede suscitar interés en los empresarios por los posibles beneficios (por ejemplo: utilizar como *marketing* que la empresa tiene responsabilidad social y sus procesos productivos no impactan de forma exacerbada al ambiente).

VI. Preguntas directrices.

A continuación, se establecen las preguntas a responder por la investigación:

1. ¿Existe un comportamiento de U invertida como lo plantea la Curva Ambiental de Kuznets entre el CO₂ per cápita y el PIB per cápita?
2. ¿Cuál es el efecto de incorporar la Ley No. 217 — Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales en el análisis de regresión lineal múltiple?

VII. Diseño metodológico.

7.1 Tipo de estudio.

Según el enfoque:

La investigación tiene un *enfoque cuantitativo*; ya que, como afirman Hernández, Fernández y Baptista (2014), dicho enfoque usa la recolección de datos con el fin de probar hipótesis mediante análisis estadístico; en este caso, comprobar la curva ambiental de Kuznets para Nicaragua, a través de modelos donde la variable endógena son las emisiones de CO₂ per cápita, y como variable exógena el PIB per cápita a precios corrientes de Nicaragua, considerando el efecto de la Ley No. 217 — Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.

El método empleado fue el *hipotético-deductivo*, esto consiste en que a partir de una teoría o fenómeno observable se derivan hipótesis, las cuales deben ser probadas (Hernández *et al*, 2014).

Según el alcance:

La investigación tiene alcances exploratorio y correlacional; lo primero, porque si bien hay estudios sobre la CAK que consideran a Nicaragua, no hay trabajos específicos sobre el país, donde además se incorporen aspectos de la política ambiental en los análisis de la relación entre crecimiento económico y deterioro ambiental de forma empírica (mediante modelos estadísticos); y lo segundo, porque evidentemente, para lograr los objetivos del estudio se analizó la relación entre las variables ya mencionadas.

Según su cobertura:

En cuanto a la cobertura, es de tipo longitudinal, ya que para el análisis de regresión el período de muestra fue de 1980 — 2014, en otras palabras 35 años (observaciones).

7.2 Definición y operacionalización de variables.

Variable	Indicador	Clasificación	Unidad	Frecuencia	Período	Fuente
Dióxido de carbono (CO ₂)	Emisiones de dióxido de carbono per cápita de Nicaragua	Variable dependiente (continua)	Kilogramos por habitante (kg/hab)	Anual	1980 a 2014	Banco Mundial
Crecimiento económico	PIB per cápita a precios corrientes de Nicaragua	Variable independiente (continua)	Dólares estadounidenses por persona (US\$/hab)	Anual	1980 a 2014	Banco Central de Nicaragua
Legislación ambiental	Ley No. 217 Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y sus reformas	Variable independiente (dicotómica)	0 (ausencia) 1 (presencia)	Anual	1980 a 2014	Asamblea Nacional

7.3 Metodología para el análisis de datos.

Con el fin de evaluar la hipótesis de la CAK para el caso de Nicaragua, se estimaron los siguientes modelos:

$$\ln \hat{Y}_t = \hat{a} + \hat{b} \ln X_t + \hat{\beta}_1 L_t + \hat{\beta}_2 Z_t + \hat{\varepsilon}_t \quad [M1]$$

$$\ln \hat{Y}_t = \hat{a} + \hat{b} \ln X_t + \hat{c} \ln^2 X_t + \hat{\beta}_1 L_t + \hat{\beta}_2 Z_t + \hat{\varepsilon}_t \quad [M2]$$

$$\ln \hat{Y}_t = \hat{a} + \hat{b} \ln X_t + \hat{c} \ln^2 X_t + \hat{d} \ln^3 X_t + \hat{\beta}_1 L_t + \hat{\beta}_2 Z_t + \hat{\varepsilon}_t \quad [M3]$$

Donde:

\hat{Y} : Estimaciones de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) per cápita (kg/hab).

X : PIB per cápita (US\$ a precios corrientes) de Nicaragua.

L : Representa la Ley No. 217 (0 desde 1980 a 1996 y 1 desde 1997 a 2014).

Z : Representa la interacción entre la ley No. 217 y el logaritmo natural del PIB per cápita.

t : Referente a los años.

$\hat{\varepsilon}$: Error o perturbación.

\hat{a} , \hat{b} , \hat{c} , \hat{d} , $\hat{\beta}_1$ y $\hat{\beta}_2$: Coeficientes de regresión.

De manera que se aceptará la hipótesis de la CAK si el modelo [M2] o [M3] es el más óptimo estadísticamente y que el coeficiente principal (con respecto al $\ln X_t$) sea negativo. Con cualquier otro caso, se rechazará el comportamiento de U invertida entre las variables; no obstante, se analizará lo que implica el tipo de curva. Cabe señalar que si en efecto, el mejor modelo resulta con un grado mayor a uno con respecto al $\ln X_t$, los puntos de inflexión se encuentran con los criterios de la derivada.

También se consideraron los modelos en donde no se toma en cuenta la Ley No. 217 y su interacción con el $\ln X_t$, para compararlos, visualizando así el efecto de la misma sobre los coeficientes del logaritmo neperiano del PIB per cápita.

7.3.1 Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

Se hizo un análisis de regresión lineal múltiple con el método de MCO, el cual se atribuye a Carl Friedrich Gauss (1777-1855), matemático alemán. Dicho método es utilizado usualmente por sus propiedades estadísticas deseables y, además, el proceso es relativamente sencillo mediante cálculo diferencial (Gujarati & Porter, 2010), donde se minimizan los errores al cuadrado. Para ejemplificar considere el modelo [M2], entonces:

$$\ln Y_t = \ln \hat{Y}_t + \hat{\varepsilon}_t \quad [2]$$

$$\ln Y_t - \ln \hat{Y}_t = \hat{\varepsilon}_t$$

$$\ln Y_t - \hat{a} - \hat{b} \ln X_t - \hat{c} \ln^2 X_t - \hat{\beta}_1 L_t - \hat{\beta}_2 Z_t = \hat{\varepsilon}_t$$

Donde Y_t representa a las observaciones reales del indicador de deterioro ambiental y \hat{Y}_t las estimaciones. Continuando con el método, se toma en cuenta la sumatoria de los elementos al cuadrado, es decir:

$$(\ln Y_t - \hat{a} - \hat{b} \ln X_t - \hat{c} \ln^2 X_t - \hat{\beta}_1 L_t - \hat{\beta}_2 Z_t)^2 = \hat{\varepsilon}_t^2 \quad [3]$$

$$\sum (\ln Y_t - \hat{a} - \hat{b} \ln X_t - \hat{c} \ln^2 X_t - \hat{\beta}_1 L_t - \hat{\beta}_2 Z_t)^2 = \sum \hat{\varepsilon}_t^2 \quad [4]$$

Considerando $\sum \hat{\varepsilon}_t^2 = f(\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2)$, se deriva parcialmente con respecto a cada coeficiente de regresión y luego se iguala a cero cada derivada. De manera que se generará un sistema de ecuaciones (denominado *sistema de ecuaciones normales*), donde al resolverlo, se encontrará el valor de los coeficientes, los cuales determinarán la *curva de mejor ajuste* a los datos observados, es decir:

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{a}} = -2 \sum (\ln Y_t - \hat{a} - \hat{b} \ln X_t - \hat{c} \ln^2 X_t - \hat{\beta}_1 L_t - \hat{\beta}_2 Z_t) = 0 \quad [5]$$

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{b}} = -2 \sum (\ln Y_t \ln X_t - \hat{a} \ln X_t - \hat{b} \ln^2 X_t - \hat{c} \ln^3 X_t - \hat{\beta}_1 L_t \ln X_t - \hat{\beta}_2 Z_t \ln X_t) = 0 \quad [6]$$

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{c}} = -2 \sum (\ln Y_t \ln^2 X_t - \hat{a} \ln^2 X_t - \hat{b} \ln^3 X_t - \hat{c} \ln^4 X_t - \hat{\beta}_1 L_t \ln^2 X_t - \hat{\beta}_2 Z_t \ln^2 X_t) = 0 \quad [7]$$

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{\beta}_1} = -2 \sum (\ln Y_t L_t - \hat{a} L_t - \hat{b} \ln X_t L_t - \hat{c} \ln^2 X_t L_t - \hat{\beta}_1 L_t^2 - \hat{\beta}_2 Z_t L_t) = 0 \quad [8]$$

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{\beta}_2} = -2 \sum (\ln Y_t Z_t - \hat{a} Z_t - \hat{b} \ln X_t Z_t - \hat{c} \ln^2 X_t Z_t - \hat{\beta}_1 L_t Z_t - \hat{\beta}_2 Z_t^2) = 0 \quad [9]$$

Reordenando y simplificando se obtiene el *sistema de ecuaciones normales*:

$$\begin{aligned} \sum \ln Y_t &= \hat{a} n + \hat{b} \sum \ln X_t + \hat{c} \sum \ln^2 X_t + \hat{\beta}_1 \sum L_t + \hat{\beta}_2 \sum Z_t \\ \sum \ln Y_t \ln X_t &= \hat{a} \sum \ln X_t + \hat{b} \sum \ln^2 X_t + \hat{c} \sum \ln^3 X_t + \hat{\beta}_1 \sum L_t \ln X_t + \hat{\beta}_2 \sum Z_t \ln X_t \\ \sum \ln Y_t \ln^2 X_t &= \hat{a} \sum \ln^2 X_t + \hat{b} \sum \ln^3 X_t + \hat{c} \sum \ln^4 X_t + \hat{\beta}_1 \sum L_t \ln^2 X_t + \hat{\beta}_2 \sum Z_t \ln^2 X_t \\ \sum \ln Y_t L_t &= \hat{a} \sum L_t + \hat{b} \sum \ln X_t L_t + \hat{c} \sum \ln^2 X_t L_t + \hat{\beta}_1 \sum L_t^2 + \hat{\beta}_2 \sum Z_t L_t \\ \sum \ln Y_t Z_t &= \hat{a} \sum Z_t + \hat{b} \sum \ln X_t Z_t + \hat{c} \sum \ln^2 X_t Z_t + \hat{\beta}_1 \sum L_t Z_t + \hat{\beta}_2 \sum Z_t^2 \end{aligned}$$

Se puede resolver con métodos matriciales (por ejemplo: el de Gauss - Jordan), obteniendo matrices importantes como la matriz de coeficientes y la matriz aumentada:

$$A = \begin{bmatrix} n & \sum \ln X_t & \sum \ln^2 X_t & \sum L_t & \sum Z_t \\ \sum \ln X_t & \sum \ln^2 X_t & \sum \ln^3 X_t & \sum L_t \ln X_t & \sum Z_t \ln X_t \\ \sum \ln^2 X_t & \sum \ln^3 X_t & \sum \ln^4 X_t & \sum L_t \ln^2 X_t & \sum Z_t \ln^2 X_t \\ \sum L_t & \sum \ln X_t L_t & \sum \ln^2 X_t L_t & \sum L_t^2 & \sum Z_t L_t \\ \sum Z_t & \sum \ln X_t Z_t & \sum \ln^2 X_t Z_t & \sum L_t Z_t & \sum Z_t^2 \end{bmatrix} \quad [10]$$

$$B = \begin{bmatrix} n & \sum \ln X_t & \sum \ln^2 X_t & \sum L_t & \sum Z_t \\ \sum \ln X_t & \sum \ln^2 X_t & \sum \ln^3 X_t & \sum L_t \ln X_t & \sum Z_t \ln X_t \\ \sum \ln^2 X_t & \sum \ln^3 X_t & \sum \ln^4 X_t & \sum L_t \ln^2 X_t & \sum Z_t \ln^2 X_t \\ \sum L_t & \sum \ln X_t L_t & \sum \ln^2 X_t L_t & \sum L_t^2 & \sum Z_t L_t \\ \sum Z_t & \sum \ln X_t Z_t & \sum \ln^2 X_t Z_t & \sum L_t Z_t & \sum Z_t^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum \ln Y_t \\ \sum \ln Y_t \ln X_t \\ \sum \ln Y_t \ln^2 X_t \\ \sum \ln Y_t L_t \\ \sum \ln Y_t Z_t \end{bmatrix} \quad [11]$$

Donde:

A: Matriz de coeficientes.

B: Matriz aumentada.

n: Número de observaciones.

Según Gujarati y Porter (2010), los supuestos de Regresión Lineal Múltiple por método de MCO son los siguientes:

1. *Linealidad en los parámetros:* independientemente de la forma funcional del modelo (lineal, cuadrático, cúbico, entre otros), se le llama regresión lineal si y solo si, los coeficientes de regresión son lineales (es decir elevados a 1).
2. *Los valores de las variables exógenas son independientes del término de error.*
3. *El Valor medio de los errores (ε_t) es igual a cero.*
4. *El número de observaciones *n* debe ser mayor que la cantidad de coeficientes a estimar.*
5. *Los valores de las variables independientes deben variar.*
6. *No debe haber multicolinealidad entre las variables independientes.*
7. *No hay sesgo de especificación.*
8. *Homocedasticidad:* la varianza de los errores es constante: $var(\varepsilon_t) = \delta^2$.
9. *No hay autocorrelación entre las perturbaciones:* el error asociado a una observación no tiene relación con otro término de error de otra observación.
10. *Cada término de perturbación se distribuye de forma normal: $\varepsilon_t \sim N(0, \delta^2)$.*

7.3.2 Validación del modelo (Pruebas estadísticas).

Para sustentar con un análisis riguroso los resultados de la regresión, se debe someter a prueba a la misma. Con el fin de justificar el modelo seleccionado y a su vez aportar evidencia de que los supuestos del método de MCO no son violados, por tanto, la relación estadística sea válida.

7.3.2.1 Criterio de Información de Schwarz (CIS).

Se trata de una medida relativa para comparar dos o más modelos, ofreciendo un valor objetivo para determinar al mejor, cuantificando su precisión y sencillez, ya que, penaliza el sobreajuste siguiendo el *principio de parsimonia* (Gujarati & Porter, 2010).

$$CIS = 1 + \ln(2\pi) + \ln\left(\frac{\sum \varepsilon_t^2}{n}\right) + \frac{k+1}{n} \ln(n) \quad [12]$$

Donde:

k : Número de regresoras.

n : Número de observaciones.

$\hat{\varepsilon}$: Errores.

Según este criterio, el mejor modelo es aquel con el *menor valor*.

7.3.2.2 Prueba de cointegración: procedimiento de Engle – Granger.

Cuando se realiza un análisis de regresión lineal (simple o múltiple) con series temporales se corre el riesgo de que los resultados sean espurios si éstas no son estacionarias de orden $I(0)$. Sin embargo, si las variables son no estacionarias $I(1)$, pero la combinación de ellas genera residuos $I(0)$, entonces se dice que están *cointegradas* (Gujarati & Porter, 2010).

Si existe *cointegración*, hay una relación a largo plazo o de equilibrio entre las variables habilitando el análisis de regresión (Gujarati & Porter, 2010). Además, se deducen aspectos importantes: los coeficientes del modelo son superconsistentes, la relación no es espuria y, en consecuencia, las pruebas estadísticas usuales del método de MCO para evaluar la eficiencia de los coeficientes son válidas.

Por ello, se realizó el procedimiento de Engle – Granger para comprobar si las variables están cointegradas, consta de 3 pasos:

1. Demostrar que las variables son no estacionarias de orden $I(1)$.
2. Realizar la regresión considerada cointegrante entre las series.
3. Probar que los residuos de la regresión cointegrante son estacionarios a nivel, es decir $I(0)$, de no ser así, se concluye que las variables no cointegran.

El procedimiento implica realizar pruebas de raíz unitaria, lo cual se explicará a continuación:

La prueba de raíz unitaria Aumentada de Dickey – Fuller se emplea para determinar si las series son estacionarias⁴ o no. Si las variables no son estacionarias a nivel, a éstas se puede aplicar una primera diferencia para volverlas estacionarias, en este caso se les llama series no estacionarias de orden $I(1)$ (Gujarati & Porter, 2010). Para realizar el *test* se consideran las siguientes expresiones:

Caminata aleatoria:

$$\Delta W_t = \phi W_{t-1} + \sum_{j=1}^p \theta_j \Delta W_{t-j} + \xi_t \quad [13]$$

Caminata aleatoria con constante:

$$\Delta W_t = k_1 + \phi W_{t-1} + \sum_{j=1}^p \theta_j \Delta W_{t-j} + \xi_t \quad [14]$$

Caminata aleatoria con constante y tendencia:

$$\Delta W_t = k_1 + k_2 t + \phi W_{t-1} + \sum_{j=1}^p \theta_j \Delta W_{t-j} + \xi_t \quad [15]$$

Donde Δ es el operador de primera diferencia, W la serie en análisis y ΔW_{t-j} son los j rezagos de la variable dependiente con su respectivo coeficiente θ_j . Cabe resaltar, que además se debe cumplir el requisito de no relación serial entre los errores (ξ_t). En la prueba se tienen las siguientes hipótesis:

H_0 : W tiene raíz unitaria si el coeficiente de la variable rezagada W_{t-1} es igual a cero ($\phi = 0$).

H_1 : W no tiene raíz unitaria si el coeficiente de la variable rezagada W_{t-1} es menor a cero ($\phi < 0$).

Para rechazar la hipótesis nula, el estadístico $t^*(=\tau)$ debe ser menor al valor crítico τ de la significancia seleccionada ($\tau < \tau_\alpha$). En tal caso, se concluye que la serie no tiene raíz unitaria, o bien, es estacionaria para la significancia dada (usualmente 5%).

Sobre esta prueba se aclara lo siguiente:

La prueba Aumentada de Dickey – Fuller (ADF) se diferencia de la prueba de Dickey – Fuller (DF) “simple” por los términos de rezagos de la variable dependiente que resuelven el problema de errores correlacionados en las regresiones auxiliares (Gujarati & Porter,

⁴ Una serie es estacionaria cuando su media y varianza no cambian a través del tiempo de forma sistemática.

2010). La cantidad de éstos, puede ser seleccionada de forma arbitraria; sin embargo, los programas computacionales escogen la cantidad de aplazamientos mediante criterios de información como el de Schwarz (explicado anteriormente).

Para verificar que no haya correlación serial en los residuos de las regresiones auxiliares, en la práctica se considera al estadístico Durbin – Watson (DW), el cual se estima con la siguiente ecuación:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (\xi_t - \xi_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \xi_t^2} \quad [16]$$

Para rechazar la evidencia de autocorrelación, el DW debe encontrarse en un entorno respecto a 2. Los límites de los intervalos calculados por Durbin y Watson, están ordenados en una tabla con significancia del 5% (Gujarati & Porter, 2010); sin embargo, con fines prácticos se consideró un intervalo estricto como 1.85 a 2.15 para validar la prueba ADF.

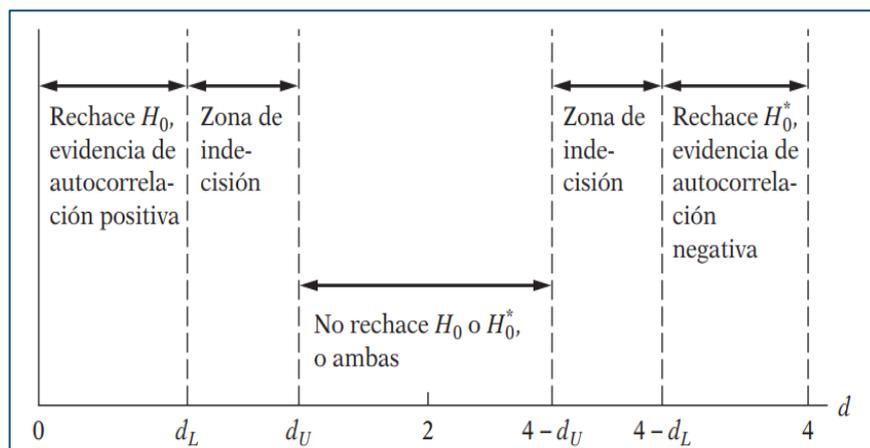


Figura 6. Zonas de rechazo, no rechazo e indecisión para H_0 (presencia de autocorrelación).

Fuente: Gujarati & Porter, 2010.

Por otro lado, el estadístico pierde fuerza con regresiones donde los rezagos de la variable dependiente forman parte de las variables independientes como en el caso de la prueba ADF. Entonces, para aumentar el rigor con el cual se descarta o no correlación serial de los errores se verificaron los resultados con correlogramas, éstos en los programas estadísticos se construyen a partir de la función de autocorrelación (FA):

$$\hat{\rho}_r = \frac{\sum(W_t - \bar{W})(W_{t+r} - \bar{W})}{\sum(W_t - \bar{W})^2} \quad [17]$$

Donde:

$\hat{\rho}_r$: Función de autocorrelación.

r: Número de rezagos.

\bar{W} : Media de la serie.

En los correlogramas también se pueden observar la función de autocorrelación parcial (FAP)⁵ y los estadísticos de Ljung – Box (Q_{LB}), en los cuales si sus valores p correspondientes son menores que la significancia seleccionada (usualmente 0.05) hay evidencias de autocorrelación (Gujarati & Porter, 2010).

$$Q_{LB} = n(n + 2) \sum_{r=1}^R \frac{\hat{\rho}_r^2}{n-r} \quad [18]$$

7.3.2.3 Prueba global F.

Es una prueba estadística basada en la distribución F, se emplea para probar si la regresión es significativa (Anderson, Sweeney & Williams, 2008). Para ello se establece la siguiente prueba de hipótesis:

$H_0: a=b=c=\dots=0$

H_1 : Uno o más parámetros son diferentes de cero.

Y como estadístico de prueba:

$$F = \frac{\sum(\hat{Y}_t - \bar{Y})^2 / k-1}{\sum(Y_t - \hat{Y}_t)^2 / n-k} \quad [19]$$

Donde:

\hat{Y}_t : Valores estimados de la variable dependiente.

Y_t : Observaciones reales de la variable dependiente.

⁵ La FAP es una medida de correlación entre dos observaciones separadas por r rezagos, eliminando el efecto de los rezagos intermedios. Se puede calcular por medio del sistema de ecuaciones de Yule – Walker, ver anexo 12.

\bar{Y} : Media de la variable dependiente.

k : Número de parámetros.

n : Observaciones.

$k-1$: Grados de libertad del numerador.

$n-k$: Grados de libertad del denominador.

De manera que, si el *valor p* de [19] es igual o menor que la significancia seleccionada ($\text{valor } p \leq \alpha$), entonces se rechazará H_0 (Gujarati & Porter, 2010). Para la investigación se utilizaron significancias típicas como 1%, 5% y como máximo 10%.

7.3.2.4 Prueba individual t.

Luego de comprobar si el modelo en su conjunto es significativo, se puede elaborar pruebas para cada coeficiente, siendo:

H_0 : el coeficiente estimado es igual a cero ($a=0$)

H_1 : el coeficiente estimado es diferente a cero ($a \neq 0$)

$$t = \frac{\text{Coeficiente estimado}}{\text{Desviación estándar del coeficiente estimado}} \quad [20]$$

Siendo:

$$\delta_{\hat{\varepsilon}_t} = \sqrt{\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^2}{n-k}} \quad [21]$$

$$\delta_{coef} = \delta_{\hat{\varepsilon}_t} \sqrt{\mathbf{A}^{-1}} \quad [22]$$

Donde:

$\delta_{\hat{\varepsilon}_t}$: Desviación estándar de los errores.

$\hat{\varepsilon}_t$: Errores.

δ_{coef} : Desviación estándar de coeficientes.

\mathbf{A}^{-1} : Matriz inversa de la matriz de coeficientes.

De manera que si el *valor p* de [20], es igual o menor a la significancia (*valor p* ≤ α) seleccionada se rechazará H_0 , concluyendo que el coeficiente en cuestión es significativo.

7.3.2.5 Coeficiente de determinación R^2 y de Henry Theil (\bar{R}^2).

Proporcionan una medida de cuanto en su conjunto las variables independientes tomadas en cuenta en el modelo de regresión, explican en promedio, la variación de la variable dependiente (Gujarati & Porter, 2010). La diferencia entre la R^2 y la \bar{R}^2 , es que esta última considera la cantidad de regresoras, penalizando el acto de incluir variables explicativas al modelo solo para incrementar el valor del coeficiente R^2 . Sus valores oscilan entre 0 y 1, aunque también se pueden leer como porcentaje al multiplicar por 100.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^2}{\sum (Y_t - \bar{Y})^2} \quad [23]$$

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^2}{n-k}}{\frac{\sum (Y_t - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad [24]$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación.

\bar{R}^2 : Coeficiente de Henry Theil (o R^2 ajustada).

7.3.2.6 Prueba de White para heterocedasticidad.

Uno de los supuestos del método de MCO es que haya homocedasticidad, o sea, la varianza de los errores debe ser constante (Gujarati & Porter, 2010). Para verificar si hay problemas de heterocedasticidad (lo opuesto a homocedasticidad) se realizó la prueba de White, la cual consiste en una regresión auxiliar con los errores al cuadrado de la regresión original como variable dependiente, en función de las regresoras originales, sus valores al cuadrado y sobre sus productos cruzados (Gujarati & Porter, 2010); sin embargo, en vista de que una de las variables utilizadas en la investigación es dicotómica se omitirá su término al cuadrado.

Para dicha prueba se consideran las siguientes hipótesis:

H_0 : Existe homocedasticidad (los coeficientes de las variables independientes de la regresión auxiliar son iguales a cero).

H₁: Heterocedasticidad (los coeficientes de las variables independientes de la regresión auxiliar son diferentes de cero).

$$nR^2 \sim \chi_{gl}^2 \quad [25]$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación de la regresión auxiliar.

gl : Grados de libertad (número de regresoras de la regresión auxiliar excepto el término constante).

n : Número de observaciones.

La H₀ se rechazará si el producto nR^2 es mayor al valor crítico χ_{gl}^2 ($nR^2 > \chi_{gl}^2$) para una significancia del 5%, indicando evidencia de presencia de heterocedasticidad (Gujarati & Porter, 2010).

7.3.2.7 Prueba de Breusch – Godfrey para autocorrelación.

El método de mínimos cuadrados ordinarios supone que el error de una observación no está relacionado con el error asociado a otra observación, si lo están a esto se le llama autocorrelación (Gujarati & Porter, 2010).

Para detectar la presencia de correlación serial en los errores se utilizó la prueba de Breusch – Godfrey. Por ello, se considera una regresión auxiliar donde la variable dependiente sean los residuos del modelo, en función de las variables independientes originales y p rezagos de los errores, de manera que:

H₀: No existe autocorrelación (los coeficientes de los rezagos del error son iguales a 0).

H₁: Existe autocorrelación, (al menos un coeficiente de los rezagos del error es diferente a cero).

$$(n - p)R^2 \sim \chi_p^2 \quad [26]$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación de la regresión auxiliar.

p : número de rezagos del residuo y grados de libertad.

Si el estadístico $(n - p)R^2$ excede al valor crítico χ^2 con p grados de libertad (es decir, $(n - p)R^2 > \chi_p^2$) asociado a la significancia seleccionada (usualmente 5%), se rechazará la hipótesis nula. En tal caso, hay evidencia de problemas de autocorrelación.

7.3.2.8 Prueba de Jarque – Bera para normalidad.

Otro supuesto del MCO es que los errores tienen una *distribución normal*. Esto implicaría, coeficientes de regresión óptimos (con varianza mínima); asimismo, presencia de autocorrelación y heterocedasticidad nula o leve (Gujarati & Porter, 2010). Para ello, se utilizó el *test* de Jarque – Bera, el cual se basa de la asimetría y la curtosis de los residuos:

$$JB = \frac{n}{6} \left[S^2 + \frac{(K-3)^2}{4} \right] \quad [27]$$

Siendo:

$$S = \frac{\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^3}{n}}{\sqrt{\left(\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^2}{n}\right)^3}} \quad [28]$$

$$K = \frac{\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^4}{n}}{\left(\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^2}{n}\right)^2} \quad [29]$$

H_0 : Los errores tienen una distribución normal ($S=0$ y $K=3$)

H_1 : Los errores no tienen una distribución normal ($S \neq 0$ y $K \neq 3$)

Donde:

JB : Estadístico de prueba.

S : Coeficiente de asimetría.

K : Curtosis.

Si el estadístico JB es mayor que el valor crítico χ^2 con 2 grados de libertad ($JB > \chi_2^2$) asociado a una significancia de 5%, se rechazará la hipótesis nula. En otras palabras, la evidencia indicaría que los residuos no tienen una distribución normal.

7.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

Se realizó un análisis a artículos científicos e investigaciones asociadas a la temática en cuestión, con el fin de obtener información pertinente.

Para la realización de la investigación se necesitó los siguientes datos:

- ✓ Emisiones de CO₂ per cápita en Nicaragua.
- ✓ PIB per cápita a precios corrientes de Nicaragua.

Las estadísticas se obtuvieron de organizaciones como el Banco Central de Nicaragua, el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y el Banco Mundial, cuyos datos se basan de investigaciones del Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, Estados Unidos), y la Comisión Europea. Por otro lado, se hizo uso de programas informáticos, tales como:

- ✓ **Paquete de Microsoft Office:** Para ordenar los datos numéricos de las variables, además de la edición y elaboración de texto.
- ✓ **EViews 10:** Para la estimación de modelos y sus respectivas pruebas estadísticas.
- ✓ **GeoGebra:** Para la generación de gráficas de funciones y curvas de densidad de probabilidad.

VIII. Análisis de resultados.

8.1 Descripción de las variables.

Previo al análisis de los modelos se deben describir las variables involucradas en la regresión lineal múltiple.

8.1.1 PIB per cápita de Nicaragua.

Como indicador de crecimiento económico se utilizó el PIB per cápita de Nicaragua a precios corrientes⁶, éste se define como la razón entre el valor monetario (tasado en el mercado) de todos los bienes y servicios que son producidos en determinado periodo y la cantidad de habitantes en un país (Dornbusch, Fischer & Startz, 2009). Cabe señalar, que los valores tomados en cuenta en el análisis de regresión son sus logaritmos naturales.

Dicho indicador macroeconómico recibe críticas debido a que no recoge información sobre la desigualdad entre ciudadanos y ciertos aspectos sobre el descontento social. Sin embargo, según Graue (2009), cuando el PIB per cápita aumenta se asume que el bienestar económico también lo hace, ya que, si los ingresos por persona son elevados hay evidencia de un mayor acceso a la salud y el nivel de escolarización de la población mejora.

⁶ En adelante, PIB per cápita se entenderá en términos de precios corrientes en US\$, en caso de que no se especifique su tipo.

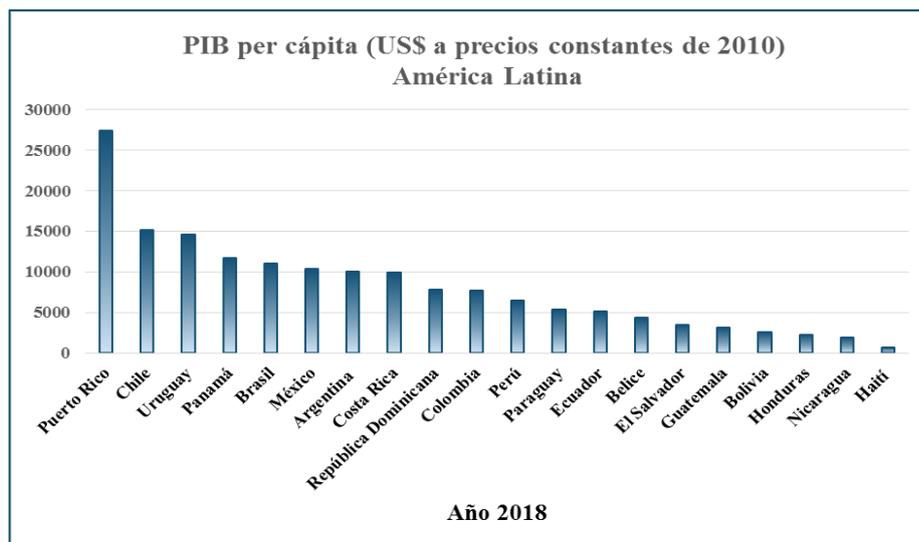


Figura 7. PIB per cápita (US\$ precios constantes de 2010) de países latinoamericanos en el año 2018. Elaboración propia basada en datos del Banco Mundial.

Según la base de datos del Banco Mundial⁷ sobre el PIB per cápita (US\$ a precios constantes de 2010), Nicaragua tiene uno de los niveles más bajos de la región latinoamericana, solo superando a Haití. Las economías más prósperas según este indicador son la puertorriqueña y la chilena, aunque cabe señalar que la primera no es autónoma, además, el país tiene una población considerablemente menor que la segunda (Chile tiene 18.8 millones de habitantes; Puerto Rico, 3.2 millones aproximadamente). En cuanto a Centroamérica en específico, Panamá y Costa Rica lideran la zona.

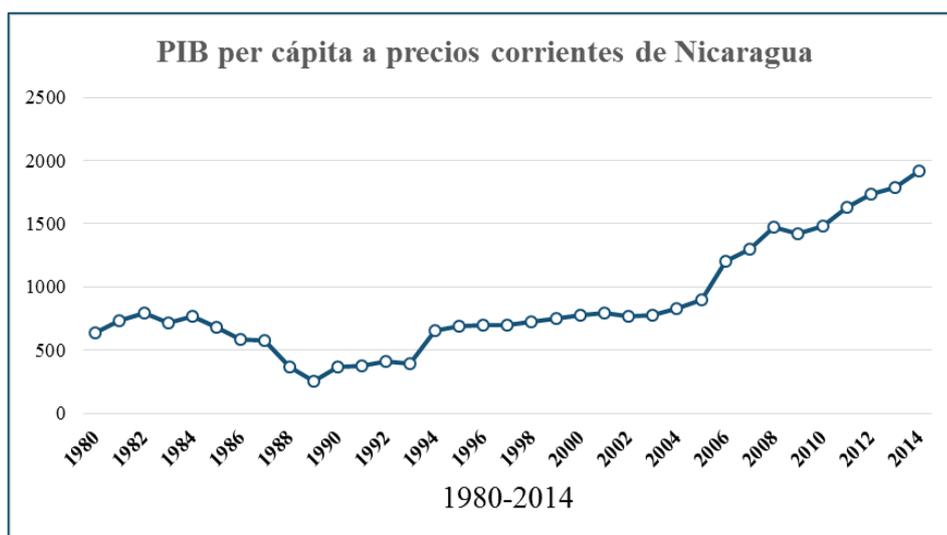


Figura 8. Evolución del PIB per cápita (US\$) nominal de Nicaragua, 1980-2014. Elaboración propia basada en datos del Banco Central de Nicaragua.

⁷ En esta base de datos, los registros para Cuba y Venezuela están ausentes.

En la figura 8 se puede observar que a partir de 1982 Nicaragua decrece en términos del PIB per cápita, empeorando a mediados de la década. Este comportamiento se debió a aspectos económicos (modelo implementado) y conflictos sociopolíticos. Luego, en los años 90 se emplearon reformas para liberalizar la economía (Rodríguez, 2014), de manera que desde 1993 Nicaragua empieza a tener una tendencia creciente hasta 2014 (según la muestra en estudio, aunque cabe destacar que dicho comportamiento continuó hasta 2017).

En el período 2000-2001 estalló una crisis bancaria en Nicaragua, la cual tuvo como consecuencia una recesión en el 2002, donde también problemas institucionales, estructurales y la reducción de la ayuda por los estragos ocasionados por el huracán Mitch contribuyeron. Asimismo, hubo una contracción en el 2009, a causa del impacto de la desaceleración de la economía mundial, remesas, inversión extranjera directa, cooperación externa y volatilidad en los precios de los alimentos y petróleo en el periodo 2007-2008 (Vargas & García, s.f.).

Por otro lado, el gráfico de la serie sugiere que hay una caminata aleatoria con un componente tendencial, incluso en logaritmos naturales (ver anexo 3).

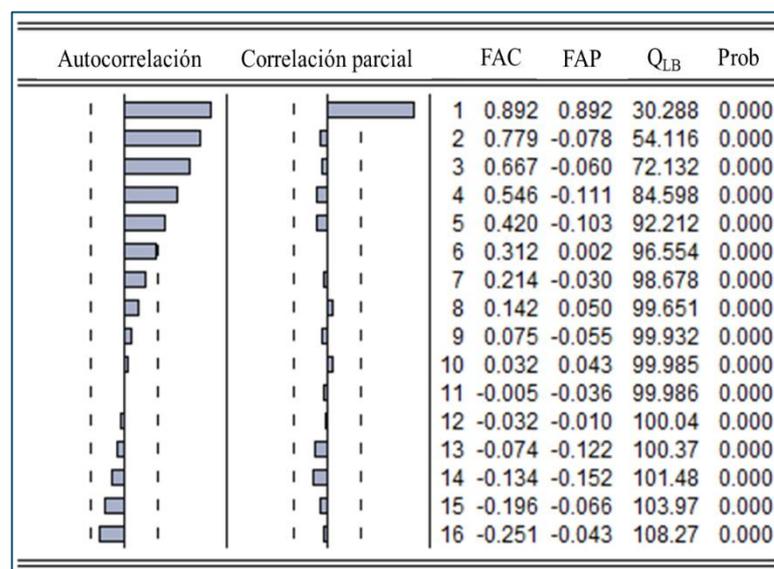


Figura 9. Correlograma del PIB per cápita (US\$) nominal de Nicaragua en logaritmos naturales.
Elaboración propia en EViews 10.

El comportamiento mostrado en el correlograma de la serie en logaritmos naturales es típico de una *no estacionaria*, pues las barras (de la columna de autocorrelación) a medida que los rezagos incrementan, éstas tienden a decrecer “lentamente”.

8.1.2 Ley No. 217 de Nicaragua.

Para capturar el efecto de dicha ley en la relación entre el PIB per cápita y el CO₂ per cápita, se incorporan dos expresiones:⁸ $\hat{\beta}_1 L_t$ y $\hat{\beta}_2 Z_t$, donde L_t representa como tal a la ley (siendo igual a 0 de 1980 a 1996 y 1 de 1997-2014) y Z_t la interacción o producto entre la variable binaria y el $\ln X_t$. De manera que, al considerar estas variables en los análisis de regresión, se modificarán los coeficientes del logaritmo natural del PIB per cápita. Además, si los coeficientes de la variable dicotómica y la interacción son significativos, entonces tendrán un efecto diferencial, para ilustrar esto considere al modelo [M1] que tiene la siguiente forma:

$$\ln \hat{Y}_t = \hat{a} + \hat{b} \ln X_t + \hat{\beta}_1 L_t + \hat{\beta}_2 Z_t$$

Como se mencionó, si $\hat{\beta}_1$ y $\hat{\beta}_2$ son significativos quiere decir que sus variables asociadas ejercen cierta influencia sobre la variable dependiente, entonces tiene sentido que la variable binaria adquiera el valor de 1, modificando al modelo de la siguiente manera:

$$\ln \hat{Y}_t = \hat{a} + \hat{b} \ln X_t + \hat{\beta}_1 (1) + \hat{\beta}_2 (1 \cdot \ln X_t)$$

Simplificando:

$$\ln \hat{Y}_t = (\hat{a} + \hat{\beta}_1) + (\hat{b} + \hat{\beta}_2) \ln X_t \quad [M1.1]$$

En el modelo [M1] como se acaba de ver, el intercepto y el coeficiente que mide los cambios relativos⁹ de una variable con respecto a otra son modificados. Por otro lado, en las especificaciones [M2] y [M3], el ingreso crítico del punto de inflexión será afectado.

8.1.3 Emisiones de CO₂ per cápita de Nicaragua.

Como indicador de deterioro ambiental se escogió el dióxido de carbono (CO₂), también conocido como gas carbónico, está constituido por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, formando una molécula con la forma: C=O=C. También representado por la siguiente figura tridimensional donde las semiesferas en rojo oscuro simulan la

⁸ Cabe señalar que para fines prácticos (y evitar sobreajustes), se asume que estas expresiones también capturan a las reformas de la Ley No. 217, las cuales están estipuladas en la Ley No. 647 aprobada el febrero de 2008 y publicada en abril del mismo año.

⁹ También puede verse de la siguiente manera, si se deriva [M1] con respecto a $\ln X_t$, entonces:

$\frac{\partial \ln \hat{Y}_t}{\partial \ln X_t} = \hat{b} + \hat{\beta}_2 L_t$, como $\hat{\beta}_2$ es significativo, por tanto: $\frac{\partial \ln \hat{Y}_t}{\partial \ln X_t} = \hat{b} + \hat{\beta}_2$.

distribución de electrones alrededor de los átomos de oxígeno, y la esfera de color gris oscuro simboliza la distribución de los electrones alrededor del átomo de carbono (Medina, 2010).

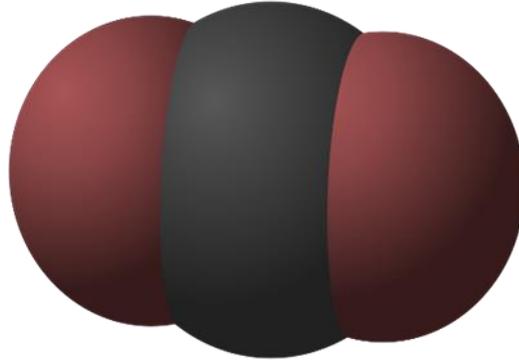


Figura 10. Representación de la molécula de CO₂.

Fuente: Medina, 2010.

En estado natural es un gas incoloro e inodoro, con sabor ligeramente ácido y no inflamable, es alrededor 1.5 veces más denso que el aire. A pesar de que en condiciones normales se presenta en forma gaseosa, puede solidificarse si se somete a temperaturas inferiores a -78.92°C , así como descomponerse si se expone a temperaturas mayores a $2\ 000^{\circ}\text{C}$ (Linde, 2012).

El dióxido de carbono se encuentra en la atmósfera de modo natural, debido a que forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra). Este gas es resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos, cuya presencia juega un papel muy importante en el ciclo de vida de animales y plantas, se libera en la respiración de los seres vivos y es retenido por las plantas en forma de carbono a través de la fotosíntesis (Núñez, González & Saura, 2015).

Además, contribuye al efecto invernadero, es decir, absorbe gran parte de la radiación solar incidente, reteniéndola cerca de la superficie terrestre, produciendo un calentamiento de la misma, esto es indispensable para el desarrollo de la vida en el planeta, dado que mantiene las condiciones climáticas. No obstante, se incluye dentro de los gases contaminantes más representativos, ya que, por su elevado nivel de emisiones producto de las actividades antropogénicas, actualmente es considerado un componente fundamental del cambio climático global (Núñez *et al*, 2015).

En Nicaragua, los diferentes sectores que abarca la economía nacional emiten cantidades considerables de CO₂. El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), en su Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (2018), divide por sectores y categorías a las distintas acciones que generan las emisiones del CO₂.

Según en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (2018), con respecto a los complejos industriales, en el país se realizan procesos relacionados a la industria de minerales, como lo son la producción de cemento y cal, aportando al aumento de las emisiones de este gas de efecto invernadero. En cuanto al sector de la agricultura, implica la aplicación de urea en los cultivos, las emisiones producidas por los cambios en el uso de la tierra como las quemadas con fines agrícolas y pérdida de bosques.

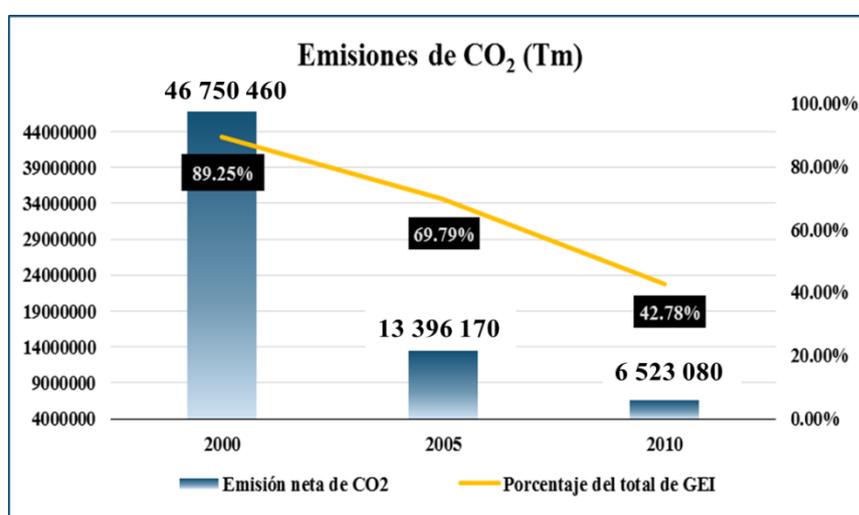


Figura 11. Emisiones de CO₂ de Nicaragua.

Elaboración propia basada del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (2018).

En general, para el año base 2000, el CO₂ emitido directo hacia la atmósfera representó el 89.25% del total (los otros gases son el óxido nitroso y el metano), para el año 2005 ocupó 69.79% del total, disminuyendo 71% aproximadamente con respecto al año 2000 y en el 2010 este gas significó 42.78% del total de gases emitidos. Como se puede ver, según el Inventario Nacional de GEI, las emisiones de CO₂ tienen una tendencia decreciente en el período 2000-2010.

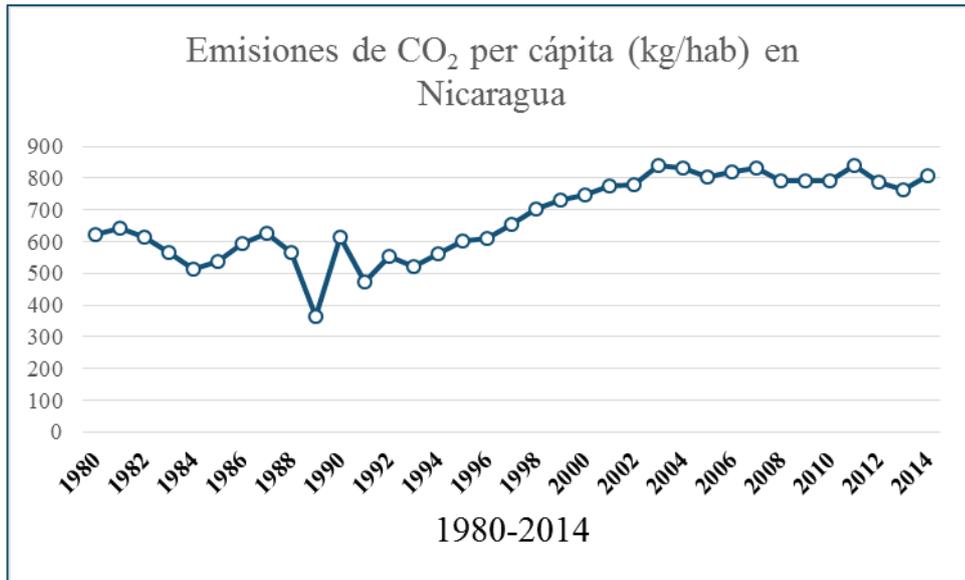


Figura 12. Emisiones de CO₂ per cápita de Nicaragua, 1980-2014.

Elaboración propia basada en datos del Banco Mundial.

La figura 12 sugiere que la serie tiene una caminata aleatoria con deriva incluso en logaritmos naturales (ver anexo 3).

Autocorrelación	Correlación parcial	FAC	FAP	Q _{LB}	Prob	
		1	0.743	0.743	21.006	0.000
		2	0.755	0.454	43.380	0.000
		3	0.667	0.067	61.401	0.000
		4	0.644	0.062	78.742	0.000
		5	0.571	-0.040	92.828	0.000
		6	0.441	-0.283	101.50	0.000
		7	0.354	-0.197	107.30	0.000
		8	0.249	-0.138	110.28	0.000
		9	0.153	-0.132	111.44	0.000
		10	0.029	-0.149	111.48	0.000
		11	-0.045	0.007	111.59	0.000
		12	-0.147	-0.029	112.81	0.000
		13	-0.207	0.021	115.34	0.000
		14	-0.291	0.001	120.56	0.000
		15	-0.339	0.010	127.99	0.000
		16	-0.356	0.084	136.65	0.000

Figura 13. Correlograma de las emisiones de CO₂ per cápita de Nicaragua en logaritmos naturales.

Elaboración propia en EViews 10.

El correlograma de la serie en logaritmos naturales presenta un comportamiento usual en variables no estacionaria, pues las barras de autocorrelación decrecen “suavemente” a medida que se incrementan los números de rezagos.

8.2 Modelos.

Luego de describir las variables en estudio, se procedió a realizar la estimación de los modelos que les relaciona, y posteriormente, se realizaron las pruebas para la validación del modelo (más significativo) de interés.

Tabla 2. Modelos sin considerar la Ley No. 217 y su interacción con el $\ln X_t$.

Variable dependiente: $\ln Y_t$									
Modelos sin considerar la Ley No. 217									
Modelo	Coeficientes de regresión						Estadísticos		
	<i>cte.</i>	$\ln X_t$	$\ln^2 X_t$	$\ln^3 X_t$	L_t	Z_t	CIS	F	\bar{R}^2
Lineal	4.3643 ***	0.3208 ***	-	-	-	-	-1.2283	58.6608 ***	0.6291
Cuadrático	-1.7452	2.1679 **	-0.1389 **	-	-	-	-1.2657	35.065 ***	0.6671
Cúbico	5.8553	-1.3327	0.3959	-0.0271	-	-	-1.1652	22.6843 ***	0.6567

Nota: *10%, **5% y ***1% de significancia estadística.

$$\text{Mejor modelo: } \ln \hat{Y}_t = -1.7452 + 2.1679 \ln X_t - 0.1389 \ln^2 X_t \quad [\text{E1}]$$

Sin considerar la Ley No. 217 y su interacción con el logaritmo natural del PIB per cápita, según el CIS el mejor modelo es el cuadrático (con respecto a $\ln X_t$). Además, la prueba F sugiere que el modelo en general es significativo al 1% de significancia. Por otro lado, los resultados de la prueba t indican que los coeficientes de $\ln X_t$ y $\ln^2 X_t$ son significativos con una significancia de 5%; por tanto, hay evidencia de un comportamiento de U invertida entre el PIB per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita, ya que el signo del coeficiente principal es negativo.

Además, según la \bar{R}^2 las regresoras en su conjunto explican 66.71% en promedio la variación de las emisiones de CO₂ per cápita. Por otra parte, para encontrar el ingreso per cápita del punto de inflexión se procedió a igualar a cero la primera derivada de [E1], es decir:

$$\frac{\partial \ln \hat{Y}_t}{\partial \ln X_t} = 2.1679 - 0.2778 \ln X_t \quad [\text{DE1}]$$

Iguando a cero a [DE1]:

$$2.1679 - 0.2778 \ln X_t = 0 \quad [\text{II}]$$

$$\ln X_t = \frac{-2.1679}{-0.2778} = 7.8038$$

$$X_t = e^{7.8038} \approx 2\,500$$

No es necesario realizar el criterio de la segunda derivada, ya que, el modelo es cuadrático; por tanto, solo habrá un punto de inflexión, el cual se trata de un máximo debido al signo negativo del coeficiente principal del modelo. Entonces, esto sugiere que, las emisiones de CO₂ per cápita tenderán a decrecer a partir de los US\$2 500 de ingreso per cápita.

Tabla 3. Modelos considerando la Ley No. 217 y su interacción con el $\ln X_t$.

Variable dependiente: $\ln Y_t$									
Modelos considerando la Ley No. 217									
Modelo	Coeficientes de regresión						Estadísticos		
	<i>cte.</i>	$\ln X_t$	$\ln^2 X_t$	$\ln^3 X_t$	L_t	Z_t	CIS	F	\bar{R}^2
Lineal	4.6954 ***	0.2592 ***	-	-	1.4186 **	-0.1808 **	-1.7432	48.5178 ***	0.8074
Cuadrático	-18.2865 ***	7.7336 ***	-0.6057 ***	-	-5.4257 ***	0.8569 ***	-2.1451	63.1663 ***	0.8797
Cúbico	-52.5331 **	23.7516 **	-3.0935 *	0.1283	-4.8529 ***	0.7727 ***	-2.1088	52.5373 ***	0.8834

Nota: *10%, **5% y ***1% de significancia estadística

Mejor modelo:

$$\ln \hat{Y}_t = -18.2865 + 7.7336 \ln X_t - 0.6057 \ln^2 X_t - 5.4257 L_t + 0.8569 Z_t \quad [E2]$$

Considerando el efecto de la Ley No. 217 y su interacción con el logaritmo natural del PIB per cápita, la mejor especificación es la cuadrática según el CIS, donde incluso supera al mejor modelo que se obtuvo al no considerar dichas variables, pues tiene un menor valor ($-2.1451 < -1.2657$), por tanto, incorporarlas en los análisis de regresión resulta un modelo más preciso para explicar a la variable dependiente.

En este caso tampoco se rechaza el comportamiento propuesto por la CAK, puesto que el coeficiente principal con respecto a $\ln X_t$ es negativo y significativo, igual que los demás para una significancia de 1%, así como el modelo en general (Prueba F). Por otro lado, la \bar{R}^2 indica que las variables independientes explican en su conjunto 87.97%, en promedio, a la variación del CO₂ per cápita.

Como se mencionó, la variable dicotómica que representa a la Ley No. 217, así como su interacción con el $\ln X_t$ son significativas (con un $\alpha = 0.01$). Esto es indicativo de tener

influencia sobre la variable explicada; por ende, la variable dicotómica tomará el valor de 1, transformando al modelo [E2] de la siguiente manera:

$$\ln \hat{Y}_t = -18.2865 + 7.7336 \ln X_t - 0.6057 \ln^2 X_t - 5.4257(1) + 0.8569 (1 \cdot \ln X_t)$$

$$\ln \hat{Y}_t = -23.7122 + 8.5905 \ln X_t - 0.6057 \ln^2 X_t \quad [E2.1]$$

Como el modelo de interés es cuadrático, al menos tendrá un ingreso per cápita crítico, el cual se obtiene igualando a cero su primera derivada con respecto al $\ln X_t$, es decir:

$$\frac{\partial \hat{Y}_t}{\partial \ln X_t} = 8.5905 - 1.2114 \ln X_t \quad [DE2.1]$$

Igualando [DE2.1] a cero:

$$8.5905 - 1.2114 \ln X_t = 0 \quad [I2]$$

$$\ln X_t = \frac{-8.5905}{-1.2114} = 7.0914$$

$$X_t = e^{7.0914} \approx 1\,202$$

Similar al caso anterior, no es necesario aplicar el criterio de la segunda derivada para determinar si en 1 202 hay un máximo o un mínimo, ya que, el signo del coeficiente principal es negativo; por tanto, se trata de un máximo. Esto significa que a partir de los US\$1 202 de ingreso per cápita, el comportamiento de las emisiones de CO₂ per cápita tenderá a decrecer.

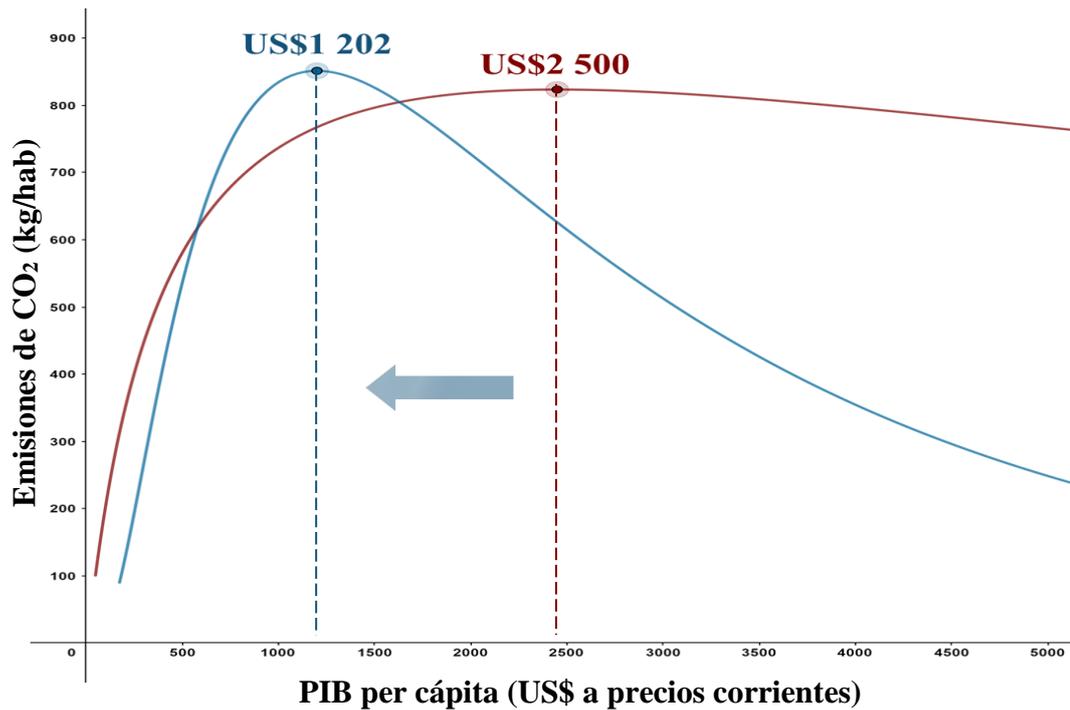


Figura 14. Gráfico de las curvas estimadas.

Elaboración propia.

En el gráfico anterior se observa que cuando no se considera la Ley No. 217 y su interacción con el $\ln X_t$ (curva en rojo), se cumple la CAK, así como al tomar en cuenta dichas variables (curva en azul) en el análisis de regresión, sin embargo, ésta última se desplaza hacia la izquierda, esto se debe a que el ingreso crítico es menor al del modelo [E1].

A continuación, se explican los contrastes realizados a [E2], ya que es el modelo de interés.

8.2.1 Contrastes.

Prueba de cointegración: Se realizó el procedimiento de Engle – Granger para probar que las variables cointegran y descartar la posibilidad de una regresión espuria. En la primera etapa, se debe establecer el orden de integración de las series, por ello, se hizo la prueba de Dickey – Fuller Aumentada (ADF).

Tabla 4. Pruebas ADF sobre las variables a nivel y en primera diferencia.

Variables a nivel						
Variable	Expresión	Rezagos	DW	Estadístico τ	Valores críticos τ	
					5%	1%
$\ln Y_t$	c	1	2.0934	-0.9635	-2.954	-3.6463
$\ln X_t$	ct	1	2.0984	-2.0255	-3.553	-4.2627
Variables en primera diferencia						
Variable	Expresión	Rezagos	DW	Estadístico τ	Valores críticos τ	
					5%	1%
$\Delta \ln Y_t$	c	1	2.0387	-5.4693	-2.9571	-3.6537
$\Delta \ln X_t$	ct	0	2.0286	-5.3418	-3.553	-4.2627

Nota: Los rezagos fueron seleccionados basados en el CIS analizando 5 rezagos como máximo; sin embargo, si el DW indicaba correlación serial, los rezagos se seleccionaron arbitrariamente para eliminar dicho problema. c indica regresión auxiliar con constante y ct regresión auxiliar con constante y tendencia.

Como se puede observar en la tabla 4, las variables a nivel tienen raíz unitaria (son no estacionarias a nivel, pues los estadísticos son mayores al valor crítico asociado al 5% de significancia), pero a primera diferencia no la presentan (los estadísticos son menores incluso a los valores críticos asociados al 1% de significancia); por tanto, las variables son no estacionarias de orden $I(1)$.

A pesar del mismo orden de integración entre las series, esto no implica cointegración entre éstas, entonces, se procedió a realizar la prueba ADF sobre los errores obtenidos por medio del modelo [E2].

Tabla 5. Prueba ADF sobre los residuos del modelo [E2].

Prueba ADF sobre errores a nivel					
Rezagos	Expresión	DW	Estadístico τ	Valores críticos (τ_c)	
				5%	1%
0	c	1.9615	-5.0375	-4.4152	-4.9576

Nota: Los valores críticos son especiales para cointegración considerando 5 variables, calculados por MacKinnon, 2010. c indica el caso de constante sin tendencia. El número de rezagos se determinó con el CIS analizando 5 rezagos como máximo.

Como muestran los resultados de la prueba ADF sobre los residuos de [E2], éstos no presentan raíz unitaria; ya que, el estadístico -5.0375 es menor al valor crítico asociado a una significancia de 1%, en otras palabras son estacionarios $I(0)$. Con esta prueba hay evidencia de que las variables cointegran, entonces existe una relación de equilibrio a largo plazo y los coeficientes son superconsistentes, además, las pruebas estadísticas clásicas en los análisis de regresión son válidas.

Prueba de homocedasticidad: Se realizó la prueba de White para descartar o no la presencia de problemas de heterocedasticidad en el modelo, obteniendo los siguientes resultados de la regresión auxiliar:

$$\begin{aligned} \varepsilon_t^2 = & -23.0154 - 1.8797 \ln^2 X_t + 0.103 \ln^3 X_t - 11.7418Z_t + 1.9154L_t \ln^2 X_t \\ & + 11.4081 \ln X_t - 0.1041L_t \ln^3 X_t + 23.9941L_t \end{aligned} \quad [W1]$$

$$nR^2 = (35)(0.3426) = 11.99 \quad [W1.1]$$

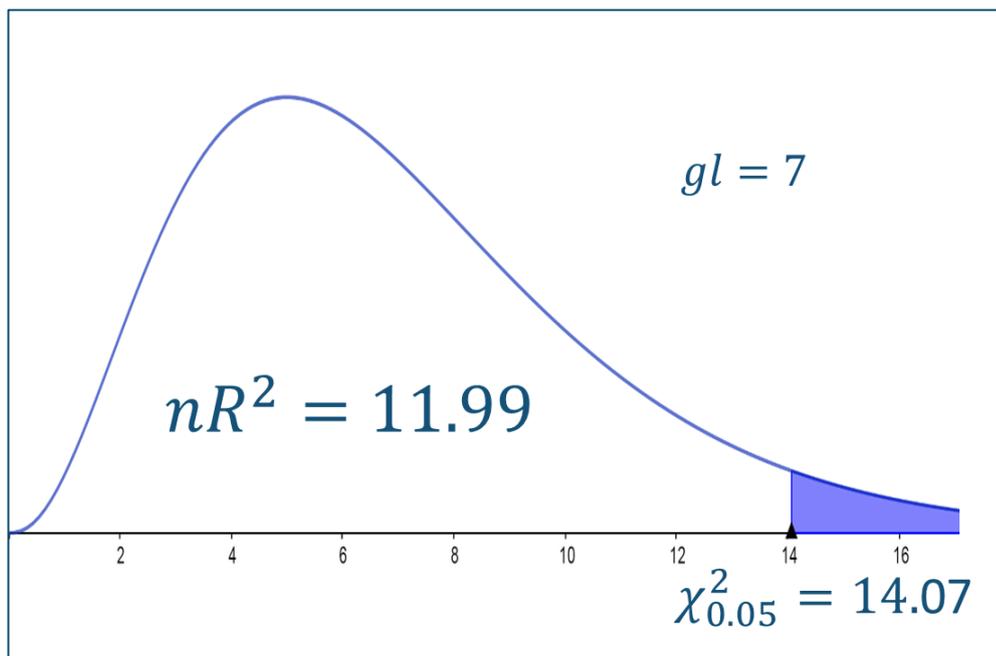


Figura 15. Distribución χ^2 para la prueba de heterocedasticidad aplicada al modelo con Ley No. 217 e interacción.

Elaboración propia en GeoGebra clásico 6.

Cabe señalar que para la prueba se omitieron expresiones que provocaban problemas de multicolinealidad perfecta¹⁰. Entonces, en la figura 15, el estadístico $nR^2=11.99$ es menor al valor crítico asociado a una significancia de 5%, por tanto, se encuentra en la zona de aceptación de la H_0 , lo cual indica que hay evidencia de homocedasticidad (la varianza de los errores es constante).

¹⁰ Por ejemplo, no se consideró el cuadrado de la variable dicotómica, a razón de que los valores 0 y 1 siguen siendo los mismos al elevarlos al cuadrado.

Prueba de no autocorrelación: Para verificar si hay presencia de autocorrelación, se realizó la prueba de Breusch – Godfrey considerando dos rezagos de los errores como variables independientes en la regresión auxiliar, obteniéndose lo siguiente:

$$\hat{\varepsilon}_t = -1.295 + 0.4371 \ln X_t - 0.0369 \ln^2 X_t - 0.5438L_t + 0.0845Z_t + 0.0609\hat{\varepsilon}_{t-1} + 0.0766\hat{\varepsilon}_{t-2} \quad [\text{BG1}]$$

$$(n - p)R^2 = (35 - 2)(0.0212) \approx 0.7 \quad [\text{BG1.1}]$$

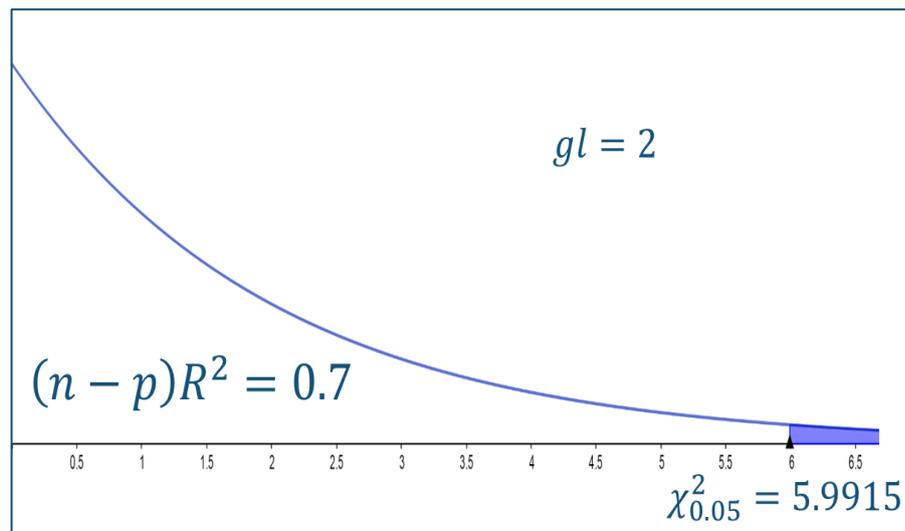


Figura 16. Distribución χ^2 para la prueba de autocorrelación aplicada al modelo con Ley No. 217 e interacción.

Elaboración propia en GeoGebra clásico 6.

En la figura 16, se observa que el estadístico $(n-p)R^2=0.7$ es menor al valor crítico 5.9915 asociado a una significancia de 5%, por tanto, hay evidencia para descartar presencia de autocorrelación en el modelo.

Prueba de distribución normal de los errores: Como la muestra es relativamente pequeña (menor a 100 observaciones) se realizó el *test* de Jarque – Bera, resultando:

$$S = \frac{\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^3}{n}}{\sqrt{\left(\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^2}{n}\right)^3}} = 0.2761 \quad [\text{S1}]$$

$$K = \frac{\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^4}{n}}{\left(\frac{\sum \hat{\varepsilon}_t^2}{n}\right)^2} = 2.7798 \quad [\text{K1}]$$

$$JB = \frac{n}{6} \left[S^2 + \frac{(K-3)^2}{4} \right] = \frac{35}{6} \left[(0.2761)^2 + \frac{(2.7798-3)^2}{4} \right] = 0.5154 \quad [\text{SK1}]$$

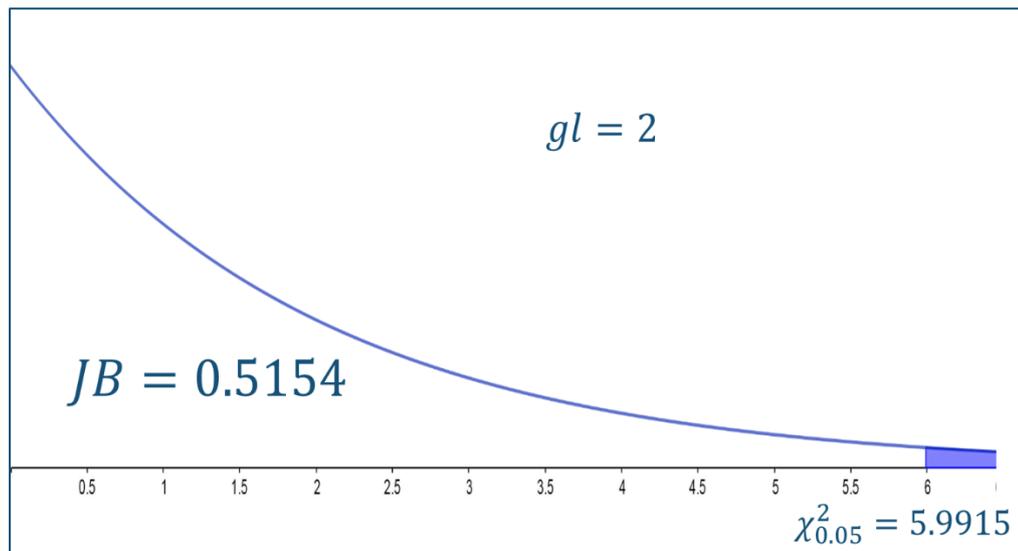


Figura 17. Distribución χ^2 para la prueba de Jarque – Bera aplicada al modelo con Ley No. 217 e interacción.

Elaboración propia en GeoGebra clásico 6.

Hay evidencia de una distribución normal de los errores con una significancia del 5%, pues el estadístico $JB=0.5154$ no supera al valor crítico 5.9915. Entonces, los coeficientes estimados son los mejores que se pueden obtener mediante el método de MCO, además, como lo indicaban las pruebas anteriores, hay evidencia para considerar la presencia de una heterocedasticidad y autocorrelación baja o nula.

IX. Conclusiones.

Según los resultados de las regresiones, al considerar la Ley No. 217 — Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, en la relación entre las emisiones de CO₂ per cápita y el PIB per cápita, existe un comportamiento de U invertida tal como lo plantea la Curva Ambiental de Kuznets, para el caso de Nicaragua en el período 1998-2014. Además, las pruebas estadísticas aplicadas indican que los coeficientes estimados son eficientes y la regresión no es espuria.

El ingreso per cápita crítico es de US\$1 202, Nicaragua en cuanto estadísticas supera ese nivel desde el 2007, por ende, se espera que a partir de ese año las emisiones de CO₂ per cápita tenderán a decrecer. Cabe resaltar que el ingreso crítico en el modelo [E2.1] es menor al de [E1], esto se explica por la influencia de leyes formuladas con el objetivo de preservar y conservar el medio ambiente, pues para una sociedad debería ser más barato cuidar el medio ambiente, porque los daños se atenuarían y evidentemente la remediación o recuperación se lograría con un menor costo. Entonces, si los organismos o instituciones encargadas de que se cumplan las pautas establecidas en las políticas ambientales son eficaces, en términos de la CAK, repercutirá en una curva probablemente más pequeña o desplazada hacia la izquierda, debido a un menor nivel de ingresos para alcanzar el punto de inflexión comparado al que se necesitaría si éstas no existieran.

Los estudios realizados en otros países generalmente no toman en cuenta las políticas ambientales, esto se explica por la dificultad de separar su efecto de la influencia de otras variables que dan lugar a una curva ambiental en forma de U invertida. Desde luego, en esta investigación las variables seleccionadas para capturar aproximadamente la influencia de la Ley No. 217 van asociadas a los años en donde entró en vigencia y cómo afectaba a los coeficientes del PIB per cápita, pero se deja de lado otros factores (se omitieron en las regresiones). Por tanto, dados los resultados, éstos se deben interpretar en términos de eficacia y no de eficiencia, ya que, para demostrar lo segundo, se debe analizar de forma exhaustiva los artículos de la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y sus reformas en cuanto a sus implicaciones (con relación a aspectos ecológicos y/o económicos), así como la capacidad de los organismos gubernamentales para llevar a cabo las obligaciones impuestas por dicha ley.

X. Recomendaciones.

El indicador de deterioro ambiental utilizado en la investigación fue el registro de emisiones de dióxido de carbono per cápita, no obstante, es probable que las siguientes recomendaciones sirvan para otros.

Al Gobierno.

- *Sobre educación ambiental:* Mejorar o reforzar el programa de estudios en cuanto al tema de la educación ambiental con el fin de que niños y jóvenes asimilen de mejor forma los conceptos ecológicos y de buenas prácticas ambientales. Además, se deben realizar frecuentemente campañas o eventos en donde se aborde dicha temática; ya que, es evidente la paupérrima educación ambiental de los nicaragüenses.
- *Sobre aspectos económicos:* La evidencia indica que el modelo económico de libre mercado es el más óptimo para el crecimiento económico y el cuidado del medio ambiente (como lo sugiere el Índice de Desempeño Ambiental). En consecuencia, se recomiendan políticas que no entorpezcan la implementación de dicho modelo, pero sin dejar de considerar que los daños ambientales no sean exacerbados por malas prácticas.

Estas medidas o políticas deberán ajustarse tomando en cuenta el contexto espaciotemporal de las condiciones sociales, ecológicas y económicas del país. Como ejemplo, una propuesta sería estimular la Responsabilidad Social Empresarial. Por otro lado, Nicaragua tiene un gran potencial en cuanto a la producción de energía renovable, por tanto, se insta a continuar invirtiendo en energías limpias: ya que, contribuye a disminuir los GEI.

XI. Bibliografía.

- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2008). *Estadística para administración y economía* (10ma. ed.). México D.F: Cengage Learning.
- Asamblea Nacional. (1996). Ley No. 217. Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Publicada en *La Gaceta Diario Oficial* No. 105, del 6 de junio de 1996. Nicaragua.
- Asamblea Nacional. (2008). Ley No. 647. Ley de Reformas y Adiciones a la Ley N°. 217, “Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales”. Publicada en *La Gaceta Diario Oficial* No. 62, del 3 de abril de 1996. Nicaragua.
- Asamblea Nacional. (2014). Texto de Ley No. 217, “Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales” con sus reformas incorporadas. *Publicado en La Gaceta Diario Oficial* No. 20, del 31 de enero de 2014. Nicaragua.
- Banco Central de Nicaragua. (2010). Nicaragua en cifras. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/anual/nicaragua_cifras/2010/nicaragua_cifras.pdf
- Banco Central de Nicaragua. (2013). Nicaragua en cifras. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/anual/nicaragua_cifras/2013/nicaragua_cifras.pdf
- Banco Central de Nicaragua. (2015). Nicaragua en cifras. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/anual/nicaragua_cifras/2015/nicaragua_cifras.pdf
- Banco Central de Nicaragua. (2017). Nicaragua en cifras. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/anual/nicaragua_cifras/2017/nicaragua_cifras.pdf
- Banco Central de Nicaragua. (s.f.). *Principales indicadores macroeconómicos*. Recuperado de https://www.bcn.gob.ni/estadisticas/anuario_estadistico/excel/Principales_Indicadores.xlsx
- Banco Mundial. (1992). Informe sobre el desarrollo mundial 1992: El desarrollo y el medio ambiente. Washington, D.C: Autor.

- Banco Mundial. (2000). En el umbral del siglo XXI: Informe sobre el desarrollo mundial, 1999-2000. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Cantos, J., & Balsalobre, D. (2011). Las energías renovables en la Curva de Kuznets Ambiental: Una aplicación para España. *Estudios de Economía Aplicada*, 29 (2), 1-31.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (s.f). Acerca del cambio climático. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/temas/cambio-climatico/acerca-cambio-climatico>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2007). Unidos por el clima. Guía de la Convención sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. Recuperado de https://unfccc.int/resource/docs/publications/unitingonclimate_spa.pdf
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático., & Unión Europea. (2016). Acuerdo de París. Publicado en el *Diario Oficial de la Unión Europea*, del 5 de octubre de 2016. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016D1841&from=ES>
- Dornbusch, R., Fischer., & Startz, R. (2009). *Macroeconomía* (10ma. ed.). México D.F: McGraw Hill Educación.
- Estrella, M., & González, A. (2014). *Desarrollo sustentable: Un nuevo mañana* (1era. ed.). México D. F: Patria, S.A.
- f.
- Gitli, E., & Hernández, G. (2002). La existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) y su impacto sobre las negociaciones internacionales. Recuperado de <http://www.grupochoarlavi.org/php/doc/documentos/curvakuznetsambiental.pdf>
- Gómez, J. (2003). Economía ambiental: una retrospectiva teórica. *Apuntes Contables*, (5). Recuperado de <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/contad/article/view/1308>
- Graue, A. (2009). *Fundamentos de economía* (1era. ed.). México: Pearson Educación.

- Grossman, G., & Krueger, A. (1995). Economic Growth and the Environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110 (2), 353-377.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2015). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Gujarati, D., & Porter, D. (2010). *Econometría* (5ta. ed.). México D.F: McGraw Hill Educación.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta. ed.). México D.F: McGraw Hill Educación.
- Linde Ecuador S.A. (2012). Hoja de seguridad del material (SDS) dióxido de carbono Comprimido. Guayaquil: Autor.
- MacKinnon, J. (2010). Critical Values for Cointegration Tests. *Queen's Economics Department, Working Paper No. 1227*.
- Martínez, J. (1998). Curso de economía ecológica. Recuperado de <https://clea.edu.mx/biblioteca/Curso-de-economia-ecologica.pdf>
- Medina, J. (2010). La Dieta del Dióxido de Carbono (CO₂). *Conciencia Tecnológica*, (39), 50-53.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. (2018). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Managua: Autor.
- Núñez, A., González, M., & Saura, G. (2015). Proceso de recuperación de CO₂. Generalidades. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 49 (2), 24-32.
- Panayotou, T. (1993). Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- Panayotou, T. (2003). *Economic growth and the environment*. Recuperado de <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/ead/sem/sem2003/papers/panayotou.pdf>

- Parkin, M. (2009). *Economía* (8va. ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2011). Eficiencia en el uso los recursos en América Latina: Perspectivas e implicancias económicas. Recuperado de <http://wedocs.unep.org/xmlui/bitstream/handle/20.500.11822/9106/-Eficiencia%20en%20el%20uso%20de%20los%20recursos%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina2011REEO%20WEB%20FINAL.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Rodríguez, M., Capa, A., & Portela, A. (2004). Meteorología y climatología. En Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. *Meteorología y climatología: Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004*. (pp. 3-88). Recuperado de <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>
- Rodríguez, T. (2014). Ajuste estructural y desarrollo rural en Nicaragua. Nitlapán-UCA. *Cuaderno de investigación #16*. Recuperado de http://repositorio.uca.edu.ni/402/1/cuaderno_16.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales., & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2006). El cambio climático en américa latina y el caribe. Recuperado de https://www.oei.es/historico/decada/ElcambioClimatico_r.pdf
- Smith, A. (1776). *La riqueza de las naciones*. Recuperado de <http://ceiphistorica.com/wp-content/uploads/2016/04/Smith-Adam-La-Riqueza-de-las-Naciones.pdf>
- Van Hauwermeiren, S. (1999). *Manual de economía ecológica*. Santiago, Chile: Abya-Yala.
- Vargas, O., & García, L. (s.f.). Nicaragua y la Crisis Financiera Actual: Efecto y Reacción en la lucha contra la Pobreza. Recuperado de <http://xivrem.ujaen.es/wp-content/uploads/2011/11/92-R-121M534.pdf>
- Wendling, Z., Emerson, J., Esty, D., Levy, M., de Sherbinin, A., et al. (2018). *2018 Environmental Performance Index*. Recuperado de <https://epi.envirocenter.yale.edu/downloads/epi2018reportv06191901.pdf>

XII. Anexos.

Anexo I. Datos de las variables.

Años (t)	Observaciones (n)	PIB per cápita en US\$	CO ₂ per cápita en Tm/hab	CO ₂ per cápita en kg/hab	Ley 217 (L)
1980	1	640.0838066	0.623971433	623.9714331	0
1981	2	732.7324353	0.640664092	640.6640921	0
1982	3	793.770762	0.615876467	615.8764672	0
1983	4	711.9783596	0.567521717	567.5217174	0
1984	5	767.6540002	0.511662213	511.6622132	0
1985	6	676.465914	0.536838002	536.8380015	0
1986	7	580.8445509	0.595888454	595.8884537	0
1987	8	575.3234148	0.628017202	628.0172024	0
1988	9	365.9598632	0.566434939	566.4349391	0
1989	10	252.2846217	0.364415396	364.4153958	0
1990	11	366.6449873	0.614917368	614.9173677	0
1991	12	378.7819973	0.473434792	473.434792	0
1992	13	412.8755584	0.552851041	552.8510414	0
1993	14	394.6278777	0.520238197	520.2381974	0
1994	15	653.0714861	0.562129083	562.1290833	0
1995	16	685.1637756	0.60265581	602.6558097	0
1996	17	698.6718723	0.611585441	611.5854415	0
1997	18	698.3560864	0.65653966	656.5396604	1
1998	19	724.4768391	0.702581882	702.5818821	1
1999	20	746.0201282	0.732709519	732.7095194	1
2000	21	772.4691651	0.748457268	748.4572678	1
2001	22	792.8991557	0.77714591	777.1459099	1
2002	23	767.6397561	0.78066022	780.6602196	1
2003	24	772.0059299	0.841729221	841.7292214	1
2004	25	829.7938663	0.833581276	833.5812756	1
2005	26	893.8752162	0.803023352	803.0233516	1
2006	27	1199.664657	0.81949231	819.4923096	1
2007	28	1300.534931	0.834057151	834.0571514	1
2008	29	1470.381632	0.79049017	790.4901702	1
2009	30	1418.460485	0.793378229	793.3782293	1
2010	31	1478.716402	0.790571277	790.5712771	1
2011	32	1629.971824	0.840380212	840.3802115	1
2012	33	1734.880044	0.786172383	786.1723827	1
2013	34	1790.421985	0.765378513	765.3785134	1
2014	35	1916.769886	0.808520856	808.5208556	1

Nota: Lo que está sombreado en gris no se toma en cuenta en las regresiones, solo señalan a que año y observación corresponde el dato o valor.

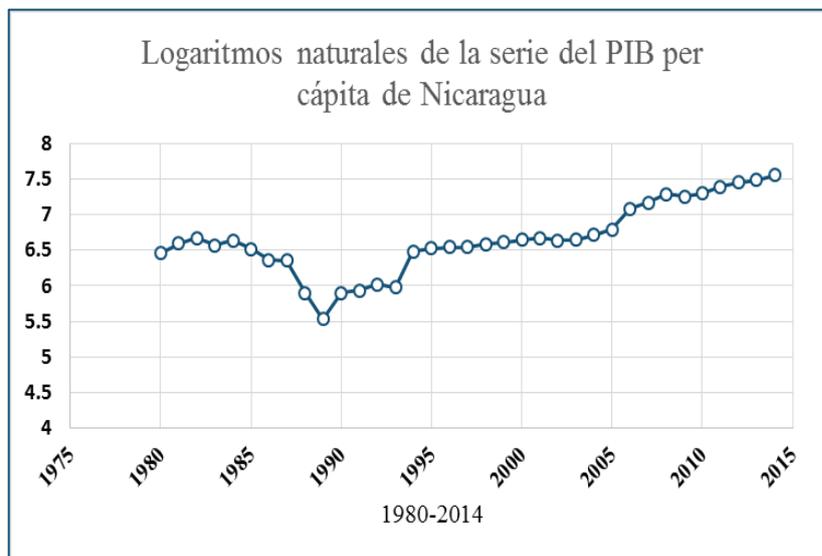
Fuentes: Banco Central de Nicaragua y Banco Mundial.

Anexo 2. Síntesis de otras investigaciones sobre CAK.

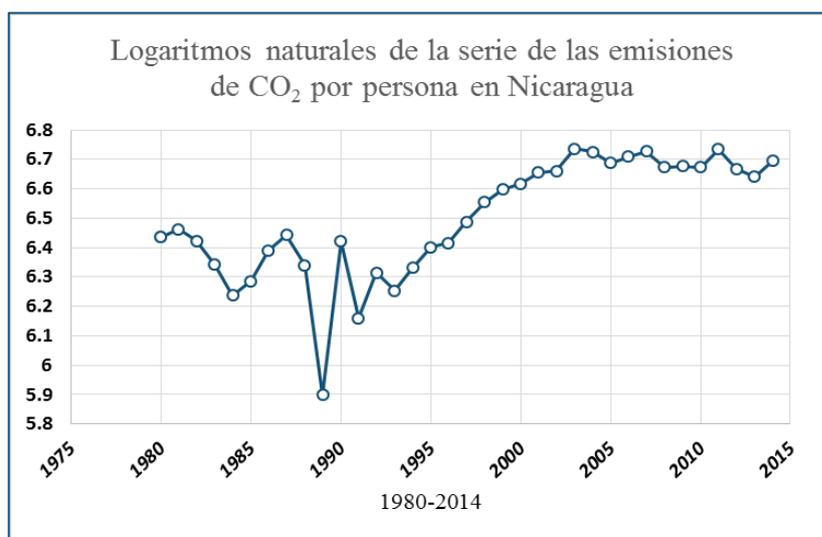
Indicador	Autor	Año	Puntos de Inflexión	Tipo de CAK
SO2	Grossman y Kruger	1991	4 100 - 14 000	N
Humo	Grossman y Kruger	1991	5 000 - 10 000	N
SO2	Shafik Bandyopadhyay	1992	3 700	U-Inv
PMS	Shafik Bandyopadhyay	1992	3 300	U-Inv
CO2	Holtz - Eakin and Selden	1992	35 400 - 8 000 000	N-Inv
Humo	Grossman	1993	4 700 - 10 000	N
SO2	Grossman y Kruger	1994	4 100 - 14 000	N
SO2	Selden y Song	1994	8 900 - 10 700	N
NOx	Selden y Song	1994	12 000 - 21 800	N
PMS	Selden y Song	1994	9 800 - 9 600	N
CO	Selden y Song	1994	6 200 - 19 100	N
SO2	Torras y Boyce	1998	3 400 - 14 000	N-Inv
DBO	Torras y Boyce	1998	5 100 - 19 900	N-Inv
PMS	Islam, Vincent y Panayotou	1999	-	U-Inv

Fuente: Gitli y Hernández, 2002.

Anexo 3. Gráfica de PIB per cápita y emisiones de CO₂ por persona en Nicaragua transformados en logaritmos naturales.



Elaboración propia.



Elaboración propia.

Al aplicar logaritmos naturales en los datos de las variables evidentemente el comportamiento es similar al de los datos originales, la diferencia radica en la escala, pues se trabaja con valores más pequeños.

Anexo 4. Estimación de [E2] en EViews 10.

Las variables se deben codificar para realizar la regresión en Eviews 10, siendo:

Logaritmo natural del CO₂ per cápita: LY.

Logaritmo natural del PIB per cápita: LX.

Ley No.17: L

Interacción entre LX y L: Z

Comando para realizar la regresión:

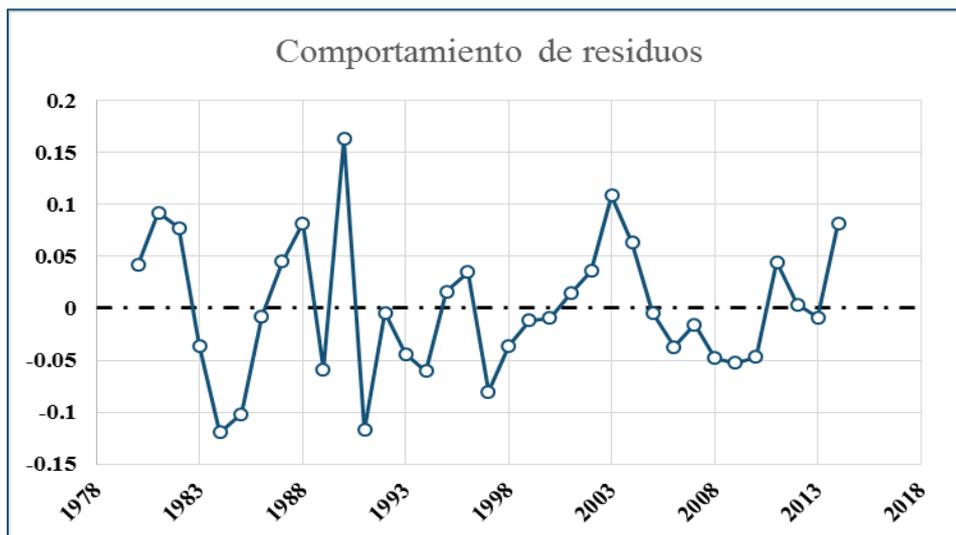
ls LY c LX LX^2 L Z

Dependent Variable: LY Method: Least Squares Sample: 1980 2014 Included observations: 35					
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	
C	-18.28652	5.196774	-3.518822	0.0014	
LX	7.733621	1.687715	4.582303	0.0001	
LX^2	-0.605730	0.136711	-4.430750	0.0001	
L	-5.425670	1.609465	-3.371102	0.0021	
Z	0.856899	0.243938	3.512768	0.0014	
R-squared	0.893867	Mean dependent var	6.499192		
Adjusted R-squared	0.879716	S.D. dependent var	0.200010		
S.E. of regression	0.069367	Akaike info criterion	-2.367243		
Sum squared resid	0.144354	Schwarz criterion	-2.145050		
Log likelihood	46.42675	Hannan-Quinn criter.	-2.290542		
F-statistic	63.16631	Durbin-Watson stat	1.754994		
Prob(F-statistic)	0.000000				

Elaboración propia.

De forma similar con los demás modelos, por ejemplo, si se desea estimar la forma doble logarítmica lineal [M1], simplemente se debe omitir el término al cuadrado (LX²).

Anexo 5. Gráfica y correlograma de residuos del modelo [E2].



Elaboración propia

Autocorrelación	Correlación parcial	FAC	FAP	Q_{LB}	Prob
		1 0.093	0.093	0.3315	0.565
		2 0.077	0.068	0.5615	0.755
		3 -0.234	-0.251	2.7821	0.426
		4 -0.304	-0.285	6.6553	0.155
		5 -0.237	-0.184	9.0716	0.106
		6 -0.074	-0.078	9.3158	0.157
		7 -0.033	-0.161	9.3666	0.227
		8 0.188	0.016	11.054	0.199
		9 0.062	-0.102	11.245	0.259
		10 -0.053	-0.247	11.389	0.328
		11 -0.033	-0.120	11.447	0.407
		12 -0.039	-0.060	11.535	0.484
		13 0.126	0.083	12.470	0.490
		14 0.104	0.011	13.131	0.516
		15 0.116	0.046	14.009	0.525
		16 0.008	-0.002	14.013	0.598

Elaboración propia.

El gráfico de residuos (1980-2014) muestra que éstos tienen un comportamiento errático y una media constante igual a cero, lo cual es típico en el método de MCO. Además, en el correlograma construido en EViews las barras de FAC y FAP no salen de las bandas de confianza (95%); asimismo, ningún valor p del estadístico Q_{LB} es menor a 0.05. Lo mencionado anteriormente es indicativo de que no hay problemas de autocorrelación, la especificación es correcta para relacionar a las variables y son estacionarios (a nivel) como ya se comprobó en el procedimiento de Engel-Granger.

Anexo 6. Pruebas ADF en EViews.

Aplicada al $\ln Y_t$ a nivel.

Null Hypothesis: LY has a unit root					
Exogenous: Constant					
Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=5)					
			t-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.963506	0.7545	
Test critical values:	1% level		-3.646342		
	5% level		-2.954021		
	10% level		-2.615817		
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.					
	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
	LY(-1)	-0.110015	0.114182	-0.963506	0.3430
	D(LY(-1))	-0.488226	0.162115	-3.011595	0.0052
	C	0.724640	0.741573	0.977166	0.3363
R-squared	0.317087	Mean dependent var			0.007052
Adjusted R-squared	0.271559	S.D. dependent var			0.143108
S.E. of regression	0.122141	Akaike info criterion			-1.280772
Sum squared resid	0.447553	Schwarz criterion			-1.144726
Log likelihood	24.13274	Hannan-Quinn criter.			-1.234997
F-statistic	6.964729	Durbin-Watson stat			2.093421
Prob(F-statistic)	0.003277				

Elaboración propia.

Como se mencionó antes la serie no es estacionaria a nivel porque el estadístico de prueba -0.9635 no es menor al valor crítico asociado a una significancia del 5%

Anexo 6. Continuación.

Aplicada al $\ln Y_t$ en primera diferencia.

Null Hypothesis: D(LY) has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-5.469268	0.0001
Test critical values:	1% level		-3.653730	
	5% level		-2.957110	
	10% level		-2.617434	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LY(-1))	-1.765354	0.322777	-5.469268	0.0000
D(LY(-1),2)	0.143688	0.183791	0.781802	0.4407
C	0.012998	0.022132	0.587284	0.5616
R-squared	0.776507	Mean dependent var		0.002947
Adjusted R-squared	0.761094	S.D. dependent var		0.255026
S.E. of regression	0.124652	Akaike info criterion		-1.237523
Sum squared resid	0.450605	Schwarz criterion		-1.100110
Log likelihood	22.80037	Hannan-Quinn criter.		-1.191974
F-statistic	50.37900	Durbin-Watson stat		2.038669
Prob(F-statistic)	0.000000			

Elaboración propia.

La serie es estacionara en primera diferencia, ya que el estadístico de prueba -5.4693 es menor al valor crítico -2.9571 para una significancia del 5%. Por tanto, es integrada de orden 1, simbólicamente I(1).

Anexo 6. Continuación.

Aplicada al $\ln X_t$ (codificado como LX) a nivel.

Null Hypothesis: LX has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.025469	0.5664
Test critical values:	1% level		-4.262735	
	5% level		-3.552973	
	10% level		-3.209642	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LX(-1)	-0.179788	0.088763	-2.025469	0.0521
D(LX(-1))	0.122816	0.175282	0.700674	0.4891
C	1.021445	0.534642	1.910523	0.0660
@TREND("1980")	0.010913	0.004354	2.506562	0.0180
R-squared	0.188698	Mean dependent var		0.029140
Adjusted R-squared	0.104770	S.D. dependent var		0.170575
S.E. of regression	0.161392	Akaike info criterion		-0.696746
Sum squared resid	0.755376	Schwarz criterion		-0.515351
Log likelihood	15.49631	Hannan-Quinn criter.		-0.635712
F-statistic	2.248334	Durbin-Watson stat		2.098394
Prob(F-statistic)	0.103826			

Elaboración propia.

La serie no es estacionaria a nivel, porque el estadístico de prueba no es menor al valor crítico asociado a una significancia del 5%

Anexo 6. Continuación.

Aplicada al $\ln X_t$ en primera diferencia.

Null Hypothesis: D(LX) has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=5)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-5.341843	0.0007
Test critical values:	1% level		-4.262735	
	5% level		-3.552973	
	10% level		-3.209642	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LX(-1))	-0.957839	0.179309	-5.341843	0.0000
C	-0.054507	0.063519	-0.858118	0.3976
@TREND("1980")	0.004574	0.003179	1.438677	0.1606
R-squared	0.488055	Mean dependent var		-0.002030
Adjusted R-squared	0.453926	S.D. dependent var		0.229418
S.E. of regression	0.169532	Akaike info criterion		-0.625038
Sum squared resid	0.862236	Schwarz criterion		-0.488992
Log likelihood	13.31313	Hannan-Quinn criter.		-0.579263
F-statistic	14.30004	Durbin-Watson stat		2.028583
Prob(F-statistic)	0.000043			

Elaboración propia.

La variable es estacionara en primera diferencia, ya que el estadístico de prueba -5.3418 es menor al valor crítico -3.553 para una significancia del 5%. Por tanto, es integrada de orden 1, simbólicamente $I(1)$.

Anexo 6. Continuación.

Aplicada a la serie de los errores (codificada como ERROR) a nivel.

Null Hypothesis: ERROR has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=5)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-5.037538	0.0002
Test critical values:	1% level		-3.639407	
	5% level		-2.951125	
	10% level		-2.614300	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ERROR(-1)	-0.902758	0.179206	-5.037538	0.0000
C	-0.000992	0.011403	-0.086985	0.9312
R-squared	0.442283	Mean dependent var		0.001181
Adjusted R-squared	0.424855	S.D. dependent var		0.087610
S.E. of regression	0.066442	Akaike info criterion		-2.527948
Sum squared resid	0.141266	Schwarz criterion		-2.438162
Log likelihood	44.97512	Hannan-Quinn criter.		-2.497329
F-statistic	25.37679	Durbin-Watson stat		1.961452
Prob(F-statistic)	0.000018			

Elaboración propia.

Como las series son I(1) y los residuos de la regresión cointegrante [E2] son I(0), ya que el estadístico -5.0375 es menor al valor crítico (especial para la prueba de cointegración) -4.4152 asociado a una significancia de 5% para 5 variables, entonces se dice que las series están cointegradas. Cabe señalar que si bien, son 2 series temporales consideradas para la investigación (CO₂ y PIB per cápita en logaritmos naturales), los residuos de [E2] son generados por una especificación en la cual se involucran 5 variables (1 dependiente y 4 explicativas), luego, para realizar una prueba con mayor robustez se consideró los valores críticos para dicha cantidad de series (5).

Anexo 7. Correlogramas de errores al cuadrado generados por las pruebas ADF.

Cabe resaltar que usualmente para validar la prueba ADF se analizan los correlogramas de los residuos al cuadrado de las regresiones auxiliares por el tipo de especificaciones empleadas. La lógica sigue siendo la misma, si las barras salen de las bandas de confianza, o bien, hay estadísticos Q_{LB} con valores p menores a 0.05, entonces hay evidencia de autocorrelación en los residuos al cuadrado y por tanto la prueba según este criterio sería inválida.

Correlograma de errores al cuadrado de Prueba ADF sobre la serie de $\ln Y_t$ a nivel.

Autocorrelación	Correlación parcial	FAC	FAP	Q_{LB}	Prob	
		1	0.162	0.162	0.9416	0.332
		2	-0.045	-0.073	1.0162	0.602
		3	-0.036	-0.017	1.0674	0.785
		4	-0.064	-0.060	1.2319	0.873
		5	0.034	0.054	1.2809	0.937
		6	0.015	-0.008	1.2900	0.972
		7	-0.064	-0.065	1.4709	0.983
		8	-0.016	0.005	1.4821	0.993
		9	0.007	0.007	1.4842	0.997
		10	-0.010	-0.018	1.4894	0.999
		11	-0.022	-0.027	1.5140	1.000
		12	-0.022	-0.011	1.5405	1.000
		13	-0.026	-0.022	1.5803	1.000
		14	-0.005	-0.007	1.5821	1.000
		15	-0.029	-0.035	1.6352	1.000
		16	-0.036	-0.027	1.7253	1.000

Elaboración propia.

Como se puede observar, ningún valor p del estadístico Q_{LB} es menor a 0.05, entonces hay evidencia de no autocorrelación, por ende, la prueba aplicada es válida como ya indicaba el $DW=2.0934$.

Anexo 7. Continuación.

Correlograma de errores al cuadrado de Prueba ADF sobre la serie de $\ln Y_t$ en primera diferencia.

Autocorrelación	Correlación parcial	FAC	FAP	Q_{LB}	Prob
		1 0.130	0.130	0.5924	0.442
		2 -0.027	-0.044	0.6182	0.734
		3 -0.017	-0.008	0.6287	0.890
		4 -0.069	-0.068	0.8140	0.937
		5 0.046	0.065	0.8977	0.970
		6 0.020	0.000	0.9149	0.989
		7 -0.014	-0.014	0.9229	0.996
		8 0.001	0.001	0.9229	0.999
		9 0.011	0.018	0.9290	1.000
		10 -0.007	-0.013	0.9318	1.000
		11 -0.025	-0.025	0.9635	1.000
		12 -0.029	-0.022	1.0100	1.000
		13 -0.034	-0.027	1.0763	1.000
		14 -0.019	-0.017	1.0986	1.000
		15 -0.038	-0.039	1.1895	1.000
		16 -0.035	-0.028	1.2747	1.000

Elaboración propia.

El correlograma de residuos al cuadrado de la prueba ADF realizada muestra que todos los valores p de los estadísticos Q_{LB} superan al valor de 0.05, por tanto, el contraste se válida al haber evidencias de no correlación serial entre errores al cuadrado.

Anexo 7. Continuación.

Correlograma de errores al cuadrado de Prueba ADF sobre la serie de $\ln X_t$ a nivel.

Autocorrelación	Correlación parcial	FAC	FAP	Q_{LB}	Prob	
		1	0.323	0.323	3.7629	0.052
		2	0.015	-0.099	3.7719	0.152
		3	-0.150	-0.139	4.6336	0.201
		4	0.093	0.218	4.9789	0.289
		5	0.212	0.126	6.8268	0.234
		6	0.306	0.196	10.822	0.094
		7	-0.095	-0.263	11.227	0.129
		8	-0.084	0.084	11.555	0.172
		9	-0.098	-0.058	12.016	0.212
		10	-0.036	-0.162	12.082	0.280
		11	-0.124	-0.144	12.883	0.301
		12	0.062	0.177	13.097	0.362
		13	-0.057	-0.042	13.282	0.426
		14	-0.056	-0.108	13.472	0.490
		15	-0.074	0.104	13.826	0.539
		16	-0.066	-0.019	14.122	0.590

Elaboración propia.

Ningún valor p del estadístico Q_{LB} es menor a 0.05, aunque en el rezago 1 supera por poco dicha cantidad (de todas formas, se puede comprobar que 3.7629 no excede al valor crítico $\chi^2_{0.05}=3.84$ para $gl=1$). Entonces, hay evidencia de no autocorrelación serial, validando la prueba aplicada, así como lo sugería su respectivo estadístico DW.

Anexo 7. Continuación.

Correlograma de errores al cuadrado de Prueba ADF sobre la serie de $\ln X_t$ en primera diferencia.

Autocorrelación	Correlación parcial	FAC	FAP	Q_{LB}	Prob	
		1	0.161	0.161	0.9350	0.334
		2	0.112	0.088	1.3996	0.497
		3	-0.150	-0.186	2.2621	0.520
		4	0.202	0.261	3.8899	0.421
		5	0.076	0.034	4.1302	0.531
		6	0.238	0.155	6.5469	0.365
		7	-0.147	-0.175	7.5110	0.378
		8	-0.089	-0.109	7.8732	0.446
		9	-0.086	0.032	8.2332	0.511
		10	-0.088	-0.241	8.6220	0.568
		11	-0.111	-0.034	9.2660	0.597
		12	0.021	0.096	9.2900	0.678
		13	-0.066	-0.045	9.5428	0.731
		14	-0.062	0.008	9.7802	0.778
		15	-0.054	0.009	9.9704	0.822
		16	-0.019	0.028	9.9942	0.867

Elaboración propia.

De nuevo, todos los valores p de los estadísticos Q_{LB} son mayores a 0.05, por tanto, hay evidencia para rechazar la presencia de correlación serial de los residuos al cuadrado, lo cual valida la prueba realizada.

Anexo 7. Continuación.

Correlograma de errores al cuadrado de Prueba ADF sobre los residuos de [E2] a nivel.

Autocorrelación	Correlación parcial	FAC	FAP	Q _{LB}	Prob	
		1	0.318	0.318	3.7501	0.053
		2	-0.087	-0.209	4.0391	0.133
		3	0.010	0.128	4.0429	0.257
		4	-0.113	-0.212	4.5601	0.335
		5	-0.037	0.126	4.6173	0.464
		6	0.328	0.304	9.3298	0.156
		7	0.131	-0.132	10.103	0.183
		8	-0.121	-0.046	10.796	0.214
		9	-0.010	0.027	10.801	0.290
		10	-0.086	-0.081	11.180	0.344
		11	-0.116	0.001	11.895	0.372
		12	0.076	-0.040	12.220	0.428
		13	0.207	0.219	14.719	0.325
		14	-0.068	-0.214	15.001	0.378
		15	-0.108	0.009	15.753	0.399
		16	-0.126	-0.142	16.838	0.396

Elaboración propia.

Todos los valores p de los estadísticos Q_{LB} son mayores a 0.05 (incluso el del primer rezago, además se puede comprobar que 3.75 no excede al valor crítico $\chi^2_{0.05}=3.84$ para gl=1). Por tal razón, según los criterios de uso de correlogramas para determinar correlación serial, se rechaza la presencia de autocorrelación en los residuos al cuadrado de la regresión auxiliar.

Anexo 8. Prueba de White en Eviews.

Heteroskedasticity Test: White				
F-statistic	2.010562	Prob. F(7,27)	0.0907	
Obs*R-squared	11.99271	Prob. Chi-Square(7)	0.1008	
Scaled explained SS	7.841089	Prob. Chi-Square(7)	0.3468	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Sample: 1980 2014				
Included observations: 35				
Collinear test regressors dropped from specification				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-23.01537	8.188642	-2.810645	0.0091
LX^2	-1.879735	0.665315	-2.825329	0.0088
LX*LX^2	0.102990	0.036405	2.829004	0.0087
LX*L	-11.74179	9.623544	-1.220111	0.2330
LX*Z	1.915395	1.403181	1.365037	0.1835
LX	11.40813	4.046135	2.819513	0.0089
LX^2*Z	-0.104126	0.068654	-1.516686	0.1410
L^2	23.99413	22.12059	1.084696	0.2876
R-squared	0.342649	Mean dependent var	0.004124	
Adjusted R-squared	0.172224	S.D. dependent var	0.005583	
S.E. of regression	0.005079	Akaike info criterion	-7.529658	
Sum squared resid	0.000697	Schwarz criterion	-7.174150	
Log likelihood	139.7690	Hannan-Quinn criter.	-7.406936	
F-statistic	2.010562	Durbin-Watson stat	1.724997	
Prob(F-statistic)	0.090723			

Elaboración propia.

Cabe destacar que a diferencia de [W1] la variable dicotómica aparece elevada al cuadrado, mas no su término lineal (así como otras variables omitidas), esto es para evitar problemas de multicolinealidad perfecta, lo cual no permitiría estimarse la regresión auxiliar. Fuera de eso, todo es igual, incluso los coeficientes y estadísticos. Por otra parte, si se observa el vapor p (0.0907) del estadístico de la prueba F en esta regresión auxiliar, es mayor que 0.05, esto implica que para esta regresión el modelo en conjunto no es significativo, en otras palabras, la especificación no explica a los errores elevados al cuadrado.

Anexo 9. Regresión auxiliar para contraste de Breusch – Godfrey.

Dependent Variable: ERROR				
Method: Least Squares				
Sample (adjusted): 1982 2014				
Included observations: 33 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.295039	5.655300	-0.228996	0.8207
LX	0.437079	1.834167	0.238299	0.8135
LX^2	-0.036875	0.148371	-0.248534	0.8057
L	-0.543783	1.740506	-0.312428	0.7572
Z	0.084456	0.263658	0.320326	0.7513
ERROR(-1)	0.060910	0.205476	0.296435	0.7693
ERROR(-2)	0.076605	0.195553	0.391737	0.6984
R-squared	0.021245	Mean dependent var		-0.004048
Adjusted R-squared	-0.204622	S.D. dependent var		0.064621
S.E. of regression	0.070925	Akaike info criterion		-2.268546
Sum squared resid	0.130791	Schwarz criterion		-1.951105
Log likelihood	44.43101	Hannan-Quinn criter.		-2.161737
F-statistic	0.094059	Durbin-Watson stat		1.975660
Prob(F-statistic)	0.996398			

Elaboración propia.

Como se explicó, la prueba fue realizada con dos rezagos en los errores como variables independientes, donde hay evidencia para descartar problemas de autocorrelación. De hecho, si se observan los valores p de los coeficientes de los rezagos de los residuos (0.7693 y 0.6984 respectivamente), indican que éstos no son significativos para una significancia de 5%.

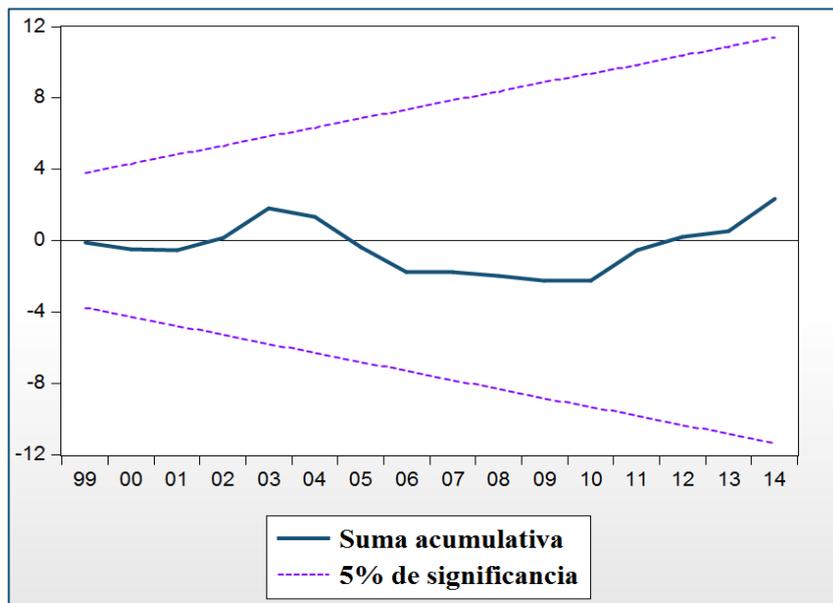
Anexo 10. Contraste de Sumas Acumuladas (CUSUM).

Es una prueba que se basa en residuos recursivos, los cuales se generan de la siguiente manera: suponga realizar un modelo con la misma especificación de [E2] para los años 1980-1986, luego realizar la estimación para la submuestra 1980-1987, y así sucesivamente hasta agotar las observaciones totales de la muestra empleada de 1980-2014 (Gujarati & Porter, 2010).

$$\text{Residuos recursivos: } M_m = \frac{\hat{\varepsilon}_m}{\sqrt{1 + \mathbf{X}'_m (\mathbf{X}'_{m-1} \mathbf{X}_{m-1})^{-1} \mathbf{X}_m}} \quad m: k+1, k+2, \dots, n$$

Donde \mathbf{X} se conoce como matriz de datos y k el número de parámetros.

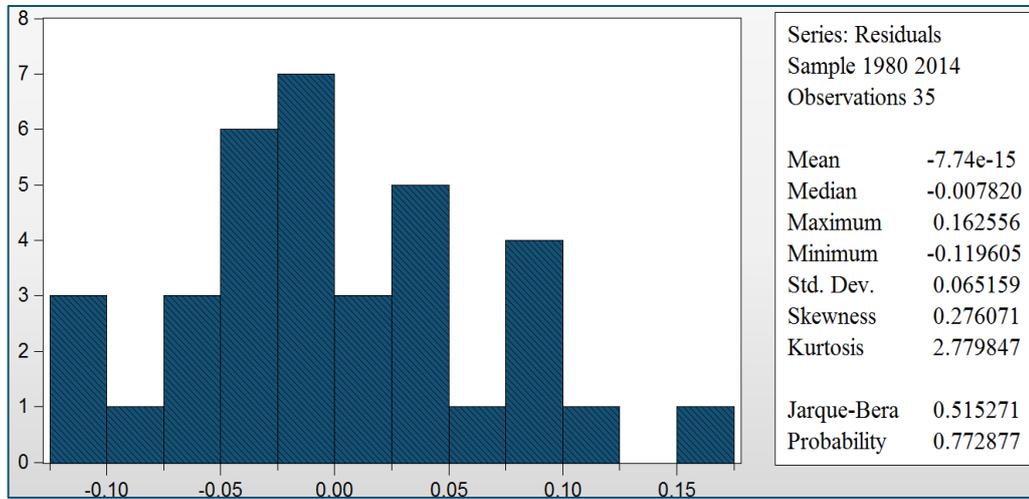
$$\text{Valor acumulado: } V_m = \frac{\sum_{j=k+1}^m M_j}{\delta_{\hat{\varepsilon}_t}} \quad m: k+1, k+2, \dots, n$$



Elaboración propia.

La línea azul representa el comportamiento de las sumas acumulativas a lo largo de la muestra, se puede apreciar que no sale de las bandas de confianza (95%) moradas, lo cual indica estabilidad de los coeficientes a lo largo del tiempo o la muestra.

Anexo II. Histograma de la serie de errores del modelo [E2].



Elaboración propia.

Anexo 12. Ecuaciones de Yule – Walker.

Para estimar la correlación parcial λ considere que se toman las primeras p autocorrelaciones ρ_h , es decir, $h=1, \dots, p$ de manera que se establezca el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\rho_1 = \lambda_1 + \lambda_2 \rho_1 + \dots + \lambda_p \rho_{p-1}$$

$$\rho_2 = \lambda_1 \rho_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p \rho_{p-2}$$

$$\vdots$$

$$\rho_p = \lambda_1 \rho_{p-1} + \lambda_2 \rho_{p-2} + \dots + \lambda_p$$

En notación matricial:

$$\begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \vdots \\ \rho_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{p-1} \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{p-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & \rho_{p-3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_p \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\rho} = \mathbf{H} \boldsymbol{\lambda}$$

Por tanto: $\boldsymbol{\lambda} = \boldsymbol{\rho} \mathbf{H}^{-1}$