

Relación del consumo de energía eléctrica, el crecimiento económico y las emisiones de dióxido de carbono en Colombia para el periodo 1971-2014

Dana Marcela Blanco Camargo, Sebastián Henríquez Orozco

Trabajo de grado presentado para optar al título de Economista

Director:

Héctor Romero

Doctor en Economía

Co-directora

Eddy Johanna Fajardo Ortiz

Doctora en Estadística

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias Humanas

Escuela de Economía y Administración

Bucaramanga

2020

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a Dios por ser fuente de sabiduría y el pilar más importante de nuestras vidas; a nuestros directores Dr. Héctor Romero y Dra. Eddy Johanna Fajardo Ortiz por su continuo apoyo, ideas, sugerencias y dedicación en la dirección de este trabajo de grado. Gracias por la confianza y el respeto brindado.

Asimismo, agradecemos a nuestra institución Universidad Industrial de Santander, a la Escuela de Economía y administración y a cada uno de nuestros docentes por sembrar en nosotros los conocimientos y la motivación de ser mejores profesionales cada día.

Este trabajo de investigación es fruto también del apoyo vital de nuestras familias Henríquez Orozco y Camargo Patiño quienes desde la infancia han estructurado nuestros valores y nos han acompañado en la materialización de nuestras metas; especialmente nuestros padres Dubys Orozco, Heder Henríquez y Nury Camargo cuyo amor y esfuerzo incondicional nos ha dado la fuerza para luchar por cada uno de nuestros sueños; gracias a ellos hoy culminamos satisfactoriamente tan importante etapa académica.

Contenido

Introducción	12
1. Objetivos de investigación.....	17
1.1 Objetivo general.....	17
1.2 Objetivos específicos	17
2. Marco referencial.....	18
2.1 Antecedentes	18
2.2 Marco conceptual.....	30
2.2.1 Crecimiento económico.....	30
2.2.2. Desarrollo sostenible.....	31
2.2.3. Emisiones de CO ₂ y calidad ambiental	34
2.2.4. Consumo y uso de la energía.	35
2.3. Marco normativo.....	37
2.4 Marco teórico	40
2.4.1 <i>Modelo de crecimiento con variable de recursos naturales</i>	44
2. 4.2. <i>Modelo neoclásico con variable de polución</i>	45
3. Marco metodológico.....	58
4. Análisis de resultados	62
4.1 Identificación y estimación del modelo VAR.....	72
4.2 Validación del modelo VAR.....	75
4.3 Prueba de causalidad de Granger	77

4.4 Función impulso-respuesta	79
5. Conclusiones y discusión.....	81
Referencias bibliográficas.....	85

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Producto Interno Bruto per cápita (UMN a precios constantes) para Colombia 1971-2014.....	63
Gráfico 2. Consumo de energía y PIB para Colombia 1971-2014	66
Gráfico 3. Consumo de Energía Eléctrica (kWh per cápita) para Colombia 1971-2014	67
Gráfico 4. Emisiones de dióxido de Carbono (toneladas métricas per cápita) para Colombia 1971-2014	68
Gráfico 5. Emisiones y absorciones GEI (M.ton CO ₂ eq.) sector de Minas y Energía 1990-2012	70
Gráfico 6. Diagrama de correlación de las variables	71
Gráfico 7. Serie del PIB, Consumo de Energía y CO ₂	74
Gráfico 8. Gráfica ajustada y correlogramas de los residuos del PIB per cápita.....	76
Gráfico 9. Funciones impulso respuesta	79

Lista de Figuras

Figura 1. Funcionamiento Externalidades ambientales de Coase.....	50
Figura 2. Curva de Kuznets Ambiental.....	54
Figura 3. Visiones alternativas de la Curva de Kuznets Ambiental	56

Lista de Tablas

Tabla 1. Revisión general de la literatura.	27
Tabla 2. Descripción de las variables de estudio	59
Tabla 3. Matriz de correlación de las variables	70
Tabla 4. Test Dickey-Fuller Aumentado	72
Tabla 5. Criterio de rezagos óptimos del modelo	75
Tabla 6. Prueba de correlación Portmanteau	76
Tabla 7. Pruebas de normalidad.....	77
Tabla 8. Pruebas de heterocedasticidad	77
Tabla 9. Prueba de causalidad de Granger.....	78

Resumen

Título: Relación entre el consumo de energía eléctrica, el crecimiento económico y las emisiones de dióxido de carbono en Colombia para el periodo 1971-2014.

Autores: Dana Marcela Blanco Camargo, Sebastián Henríquez Orozco

Palabras clave: crecimiento económico, energía, CO₂, contaminación

Descripción:

La correlación entre crecimiento económico de un país y su calidad ambiental ha sido motivo de polémica dado los diversos planteamientos existentes. Numerosos autores entre economistas y científicos justifican tal preocupación argumentando que el incremento del Producto Interno Bruto (PIB) tiene efectos negativos sobre el ambiente natural por el incremento desproporcionado en el uso de la energía y la explotación poco regulada de los recursos naturales. No obstante, otros autores sostienen que los países pueden seguir creciendo sin dañar la calidad del ambiente siempre y cuando exista una relación positiva con el progreso tecnológico.

El cambio climático obliga asumir retos y generar nuevas oportunidades para el desarrollo económico del país. El tratamiento de este trabajo se enfoca en Colombia, ya que se desea presentar aportes respecto a la problemática existente entre crecimiento económico y medio ambiente. De esta manera, se pretende conocer el efecto que el consumo de energía genera sobre el crecimiento económico y la calidad ambiental de los colombianos.

En este trabajo se presenta un análisis para el caso colombiano sobre la relación entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de dióxido carbono utilizando la metodología de vectores autoregresivos VAR, prueba de causalidad de Granger y función impulso-respuesta con el cual se pretendió encontrar evidencia de una relación causal entre las variables para el periodo de 1971-2014, además de contribuir con el estudio empírico de la existencia de una curva de Kuznets ambiental en la economía colombiana.

* Trabajo final de Grado

** Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de Economía. Director: Héctor Romero, Doctor en Economía. Co-director: Eddy Johanna Fajardo Ortiz, Doctora en Estadística.

Abstract

Title: Relationship between electric power consumption, economic growth and carbon dioxide emissions in Colombia for the period 1971-2014.

Authors: Dana Marcela Blanco Camargo, Sebastián Henríquez Orozco

Key words: economic growth, energy, CO₂, pollution

Description:

The correlation between a country's economic growth and its environmental quality has been controversial given the various existing approaches. Many authors among economists and scientists justify such concern arguing that the increase in Gross Domestic Product (GDP) has negative effects on the natural environment due to the disproportionate increase in the use of energy and the poorly regulated exploitation of natural resources. However, other authors maintain that countries can continue to grow without damaging the quality of the environment as long as there is a positive relationship with technological progress.

Climate change requires taking on challenges and generating new opportunities for the economic development of the country. The treatment of this work focuses on Colombia, since it is desired to present contributions regarding the existing problem between economic growth and the environment. In this way, it is intended to know the effect that energy consumption generates on the economic growth and environmental quality of Colombians.

This paper presents an analysis for the Colombian case on the relationship between economic growth, energy consumption and carbon dioxide emissions using the VAR autoregressive vector methodology, the Granger causality test and the impulse-response function with which it was intended to find Evidence of a causal relationship between the variables for the period 1971-2014, in addition to contributing to the empirical study of the existence of an environmental Kuznets curve in the Colombian economy.

* Final work degree

** Faculty of Human Sciences. School of Economics. Director: Héctor Romero, Doctor in Economics. Co-director: Eddy Johanna Fajardo Ortiz, Doctor in Statistics.

Introducción

El avance del mundo actual implica la constante interacción de diversos factores demográficos, económicos, y tecnológicos, que una vez involucrados en la sustracción y transformación de los recursos naturales en provecho de la satisfacción de necesidades, acarrean una gran cantidad de consecuencias medioambientales que están traspasando los impactos deseados, sin considerar que así como se satisfacen unas exigencias específicas por el bienestar la población actual, se crean nuevas demandas que se intensificaran en el futuro ocasionando límites en el desarrollo humano y por ende su posible colapso.

La revolución industrial representó un cambio en el uso y explotación de la energía respecto a la utilización de las fuentes energéticas que posibilitaran a la sociedad avanzar por encima de los límites de la "economía natural", basada fundamentalmente en el aumento estacional de recursos naturales para satisfacer la mayoría de sus necesidades. Sin embargo, la revolución industrial precede el uso a gran escala de carbón con el que necesariamente se ve asociada, siendo los cambios en las formas de producción y el surgimiento de las altas clases sociales lo que promueve el avance tecnológico para la extracción y uso de este. En la medida en la que el capitalismo avanza y hace un uso más amplio de los medios de producción utiliza en mayor medida las fuentes energéticas existentes, llevando estos recursos a su agotamiento. La transformación en la forma y cantidad de energía disponible aseguró la nueva revolución industrial y dio paso a la alteración del marco de la satisfacción al marco del consumo excesivo.

El volumen de tráfico comercial asociado a su vez con el uso y explotación de la energía en la etapa productiva de los bienes contribuye a incrementar o mitigar la contaminación, dos impactos diferentes que dependen, entre otras cosas, de los ingresos del país que realice la actividad económica. El ambiente y los ecosistemas son la base primordial generadora de recursos para el

desarrollo de los procesos productivos, para el consumo directo y, por ende, fundamental para la economía y merecen ocupar un lugar determinante dentro de los diferentes análisis económicos que proporcionan la implementación de políticas y estrategias de crecimiento económico.

Durante los últimos años se ha ido desarrollando una fase de transformación hacia el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía eléctrica con el objetivo de disminuir la dependencia en la importación de energía de recursos fósiles a precios altamente volátiles, disminuir las emisiones de gases efecto invernadero producidas principalmente por la liberación de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso del sector energético y contribuir así a la mitigación de los efectos negativos del cambio climático. Los graves desastres ecológicos ocasionados por la evolución de la actividad humana han provocado una enorme preocupación a causa del fuerte impacto que la satisfacción de las necesidades ha tenido sobre el ambiente y la vida misma.

De esta manera, en conocimiento de que el crecimiento económico corresponde a una de las principales finalidades de las naciones y esta se fundamenta en el incremento de los factores productivos y en la eficiencia con la que estos factores se emplean, en medio de la búsqueda de ser un país competitivo, abierto al comercio internacional y al consumo surge la problemática del uso eficiente de la energía y con ello la determinación de que para lograr satisfacer las necesidades del presente sin involucrar en su totalidad los recursos del futuro es importante la protección del medio ambiente; los pilares de la sostenibilidad y los principios del desarrollo sostenible surgen como producto de los diferentes análisis del panorama mundial que puede catalogarse como una “emergencia planetaria”.

Por tanto, de todos los desafíos que vive la economía moderna, probablemente el más vital es el de la energía. Nada de la economía capitalista actual es posible sin el uso de energía. De acuerdo con la Asociación Colombiana de Energías Renovables (ACER) a 2017 cerca del 82,0% de la

energía que se consume mundialmente proviene de hidrocarburos fósiles en sus distintas variantes: petróleo, gas natural o carbón. Sólo 18% de la energía que anualmente se consume proviene de otras fuentes como la energía solar, biomasa, geotérmica e hidroeléctrica. Entonces, la ecuación energética no es diferente en el mundo actual a la del siglo XX, antes de que sobreviniera la primera crisis petrolera internacional y cuando el 90% de toda la energía mundialmente consumida provenía de combustibles fósiles.

Ahora bien, Colombia posee una matriz energética diversa tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables, sin embargo, como consecuencia de su alto consumo de recursos primarios de origen fósil considerado en un 76,7% a 2014 según cifras del Banco Mundial (2019), el impacto en la calidad del aire es preocupante y la necesidad de políticas de control ambiental se hace indispensable para mitigar el efecto negativo que el uso de estas puede acarrear. Así, según el Estudio de Impactos Económicos del Cambio Climático realizado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2014) de no adaptarse a los cambios ambientales, en el largo plazo las consecuencias en la economía nacional serán notables, afectando especialmente a los sectores que representan cerca del 4,3% del PIB actual (transporte, forestal, pesca, ganadería y agricultura) y pudiéndose ocasionar pérdidas equivalentes al 0,5% anual del mismo.

Es por esta razón, que el problema de la calidad ambiental y el crecimiento económico toma relevancia crucial para todos los sectores de la sociedad (científico, político, público, ambientalista, entre otros.) conduciendo a que la ciencia económica se involucrara de una forma más visible en la distribución y uso de los recursos necesarios para el subsistir humano y se preocupara por el desarrollo de una fuente teórica que permita explicar la relación entre el sistema económico y las variables ambientales motivando así a la aparición de un nuevo centro de estudio.

Siendo esta la situación, la correlación entre crecimiento económico de un país y su calidad ambiental ha sido motivo de polémica dado los diversos planteamientos existentes. Numerosos autores entre economistas y científicos justifican tal preocupación argumentando que el incremento del Producto Interno Bruto (PIB) tiene efectos negativos sobre el ambiente natural por el incremento desproporcionado en el uso de la energía y la explotación poco regulada de los recursos naturales. No obstante, otros autores sostienen que los países pueden seguir creciendo sin dañar la calidad del ambiente siempre y cuando exista una relación positiva con el progreso tecnológico.

Lo anterior establece que la relación nivel de ingreso-ambiente se puede proyectar como una curva en U invertida. En efecto Correa (2005) ha abordado la problemática desde las discrepantes posturas mostrando que para el caso de algunos países con mayor grado de industrialización los indicadores ambientales en relación con el crecimiento económico se comportan en forma de U invertida en concordancia con la hipótesis de la evidencia de una curva de Kuznets ambiental.

El sector energético colombiano ha sido un eje primordial sobre el cual se ha ido promoviendo el desarrollo del país. Su aporte al crecimiento económico, la generación de empleo, al incremento en la inversión privada, la inversión social y demás, no pasa desapercibido. Es esencial no sólo en términos de crecimiento, sino también en términos de desarrollo y si bien el país se ha ido encaminando de forma activa en la participación de acuerdos como la Carta Internacional de la Energía (2015) concebida como instrumento de apoyo de la cooperación internacional para aportar al desarrollo de mercados energéticos del mundo; resulta esencial esquematizar el comportamiento del sector en relación a los efectos contaminantes de emisiones de carbono en Colombia e indagar si el comportamiento de dicha relación corresponde a la posible existencia de una curva de Kuznets ambiental para Colombia.

La importancia del presente estudio se centra en que el comportamiento del consumo energía y su relación con las diferentes variables ambientales y macroeconómicas han sido estudiadas en mayor medida por países desarrollados, por tanto, en países como Colombia que se encuentran en vía de desarrollo es evidente la carencia de referentes teóricos y empíricos. Desde esta perspectiva, resulta importante abordar el debate sobre el rol de la energía en la economía colombiana, específicamente sobre el impacto ambiental de su consumo, además de las cifras de inversión y empleo que este sector representa. Por otra parte, permite evaluar y hacer frente a los compromisos adquiridos tanto a nivel nacional como internacional estableciendo criterios, objetivos y metas puntuales frente al consumo energético y el cambio climático en el proceso de desarrollo industrial.

Indagar sobre el uso en la energía y su relación con el deterioro de la calidad ambiental permite establecer el estado del sector y así proponer estrategias efectivas de política ambiental. Para Colombia disminuir las emisiones de carbono y por ende de gases efecto invernadero (GEI) en los sectores productivos representa una oportunidad de generar crecimiento económico, y para que este crecimiento sea de calidad y duradero debe ser resiliente al clima e involucrar variables ambientales en la planeación estratégica nacional.

1. Objetivos de investigación

1.1 Objetivo general

Analizar la relación entre el consumo energético, el crecimiento económico y la emisión contaminante de dióxido de Carbono CO₂ en Colombia para el periodo 1971- 2014.

1.2 Objetivos específicos

Estudiar la relación existente entre el consumo de energía, producto interno bruto (PIB) y las emisiones de CO₂ en Colombia de acuerdo al material existente en los diferentes referentes teóricos de estudio.

Esquematizar el comportamiento del sector energético en el periodo establecido

Realizar una estimación de la Curva de Kuznets Ambiental para Colombia en el periodo en estudio.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

La relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía en los países ha sido estudiada por un número considerable de académicos a lo largo de los últimos años en favor de la hipótesis de que el crecimiento económico incentiva un alto consumo de energía en el mediano y largo plazo sin embargo, es indispensable involucrar en esta relación las emisiones contaminantes de CO₂ a razón de la gran inquietud por el estado ambiental a causa de la excesiva polución y el cambio climático a quienes se atribuye las afectaciones en la calidad del aire y pone sobre la mesa la discusión en torno a las estrategias de crecimiento económico y desarrollo de las naciones.

Por ejemplo, Barreto y Campo (2012) proponen determinar la relación existente a largo plazo entre el consumo de energía y el Producto Interno Bruto (PIB) para el grupo de países de Chile, México, Panamá, Paraguay, Ecuador, Perú, Uruguay, Bolivia, Brasil, Colombia, Argentina y Venezuela en el periodo 1980-2009. Este estudio emplea la metodología de datos panel no estacionarios y el test de cointegración en panel de Pedroni, usando una función de producción como forma de especificación, con la finalidad de controlar otras fuentes de variación del PIB. Entre los resultados se encontró la evidencia de una relación entre el consumo de energía, el PIB y el capital y el trabajo a largo plazo. Se observa que Latinoamérica destina aproximadamente un 59,5% de su PIB al sector servicios, esto responde a una estrecha vinculación del factor trabajo y la producción de energía. Por otra parte, se acepta la hipótesis que los países anteriormente mencionados son energético-dependientes.

Del mismo modo, Gómez (2011) determina la relación empírica entre el consumo de energía, el crecimiento económico y las emisiones contaminantes en México. Este estudio se realiza para la economía mexicana en el periodo de 1980-2015 a través de la metodología de series de tiempo y ciclos económicos por medio de vectores autoregresivos (VAR) con pruebas de causalidad de

Granger y función impulso respuesta. El análisis permite concluir que existe una relación positiva entre las variables estudiadas: mayor crecimiento económico conduce a un mayor consumo de energías fósiles y por ende al incremento de las emisiones contaminantes (CO₂). De igual modo se concluye que las variables analizadas coinciden con los resultados encontrados para países como Bélgica, Holanda, Suiza, Turquía, Francia y Alemania.

Por otra parte, Al-mulali, Lee, Mohammed, y Sheau-Ting (2013) en su estudio exploran la relación bidireccional a largo plazo entre consumo de energía, emisión de dióxido de carbono y crecimiento económico en los países de América Latina y el Caribe para el período de 1980-2008 mediante el uso de la regresión de cointegración canónica (RCC) para series de tiempo. El estudio llegó a diferentes resultados entre ellos, que el 60,0% de los países tienen una relación positiva bidireccional a largo plazo entre consumo de energía, emisión de dióxido de carbono y crecimiento económico, los países restantes presentan resultados mixtos dependiendo de la fase de crecimiento en la que se encuentren. Los hallazgos del estudio motivaron a recomendar que los países deberían aumentar su eficiencia energética, incrementar la proporción de energía verde de su energía total y mejorar la conservación de energía para reducir el desperdicio innecesario de la misma y de esta forma los impactos negativos en el ambiente.

Seguidamente, Iglesias, Golpe, Carmona y Martín (2013) buscan determinar la existencia de relaciones de cointegración entre el crecimiento económico y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en España para el periodo de 1850-2008 utilizando metodología de series de tiempo y los métodos propuestos por Kejriwal- Perron con el fin de comprobar la existencia de la curva de Kuznets ambiental (CKA). Los resultados de esta investigación arrojaron que la relación de estudio no es estable a lo largo del tiempo, por lo tanto, la hipótesis la de existencia de la curva Kuznets

medioambiental (CKA) no se evidencia en España. La economía española, afortunadamente ha presentado un escenario más positivo sobre el nivel de emisiones en las tres últimas décadas.

De otro lado, Lean y Smyth (2010) abordan la relación entre el consumo de electricidad, las emisiones de dióxido de carbono y el crecimiento económico en el largo plazo a través de un modelo de corrección de errores vectoriales (VEC), prueba de causalidad de Granger y mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para los cinco países de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático ASEAN (Indonesia, Malasia, Singapur, Tailandia y Filipinas) durante el período 1980-2006. Las estimaciones a largo plazo indican que hay una asociación positiva, estadísticamente significativa, entre el consumo de electricidad y las emisiones; consistente con la existencia de una curva de Kuznets ambiental. De igual modo, sugieren que a largo plazo existe una causalidad unidireccional que va desde el consumo de electricidad y las emisiones de CO₂ hacia el crecimiento económico.

En relación con el desarrollo de la temática Salahuddin y Gow (2014) investigan la posible relación entre crecimiento económico, el consumo de energía y las emisiones de CO₂, en los países del Consejo de Cooperación del Golfo (CCG) para el periodo de 1980 a 2012. Este estudio calcula la tendencia de los efectos de desacoplamiento y analiza la evolución de desigualdad en las emisiones de CO₂ en los países del CCG. Los resultados indican una asociación positiva y significativa entre el consumo de energía y las emisiones de CO₂ y entre crecimiento económico y consumo de energía tanto en el corto como en el largo plazo. Por el contrario, no se encuentra una relación significativa entre el crecimiento económico y las emisiones de CO₂. El vínculo causal unidireccional va del crecimiento económico a la energía. Las divergencias en los valores del índice de Gini contribuyeron hacia diferentes niveles de desigualdad de emisiones en la región. Los países del CCG siguen contribuyendo significativamente a las emisiones de CO₂ y, como tal,

el estudio recomienda seguir políticas regulatorias favorables que promuevan diversas iniciativas para reducir emisiones.

Asimismo, Masoud, Nassor y Baka (2015) realizan una investigación sobre la relación existente la contaminación ambiental, el consumo de energía y el crecimiento económico en Tanzania mediante series de tiempo para el periodo de 1975-2013. Para dicha evaluación se utiliza la metodología de test de no causalidad de Toda y Yamamoto (1995), prueba de Dickey Fuller y prueba de Phillips-Perron. El estudio arroja que tanto la variable de crecimiento económico como la de consumo de energía per cápita son unidireccionales y ejercen efectos negativos en el ambiente a través de la emisión de carbono. Los autores concluyen que las políticas de ahorro de energía por parte del Gobierno de Tanzania deben ponerse en marcha con urgencia para frenar el alto grado de contaminación.

Ahora bien, Squalli (2007) hace una contribución importante al estudiar la relación existente entre el crecimiento económico y el consumo de energía de 1980 a 2003 en países como Argelia, Kuwait, Indonesia, Irán, Nigeria, Irak, Libia, Qatar, Emiratos Árabes Unidos, Venezuela y Arabia Saudita; países que pertenecen a la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). La investigación utiliza la prueba de límites de Pesaran et al. (2001) y la prueba de no causalidad de Toda y Yamamoto (1995). La prueba de límites proporciona evidencia de una relación entre el crecimiento económico y el consumo de electricidad per cápita a largo plazo medido en PIB real per cápita en todos los miembros de la OPEP. Existe una fuerte dependencia del crecimiento económico con el consumo de electricidad entre Indonesia, Irán, Nigeria, Qatar y Venezuela, con evidencia de una relación complementaria entre la electricidad y el crecimiento económico para Irán y Qatar. Por lo tanto, se infiere que la implementación de una política para la conservación de la energía en los primeros cinco países podría obstaculizar el crecimiento económico.

A su vez Saatçý y Dumrul (2013) realizan un análisis empírico en el cual se estudia el papel del consumo de energía en el crecimiento económico de la economía de Turquía. Los datos utilizados incluyen el consumo anual de energía y series de crecimiento económico medido por medio del PIB para el periodo de 1960 a 2008. Para tal estudio se utilizaron datos agregados y desagregados sobre consumo de energía, incluidos petróleo, electricidad, carbón y energías renovables. Se aplica la prueba de raíz unitaria Lee-Strazicich con quiebres estructurales, para determinar si hay una relación a largo plazo entre las dos variables se hace uso de la prueba de cointegración de roturas estructurales de Kejriwal.

La conclusión principal del estudio fue que el consumo de la energía de Turquía y el crecimiento económico tienen una relación positiva que varía en cantidad con rupturas estructurales. De este modo, argumentan la importancia de generar políticas que disminuya la dependencia de los recursos energéticos externos y para reducir la dependencia del crecimiento económico en el consumo de energía; deben fomentarse medidas de ahorro energético tanto en el sector industrial y en el sector de la vivienda.

En concordancia, Catalán (2014) sugiere la estimación de una curva de Kuznets ambiental para un grupo de 144 países, mediante la especificación de un modelo de datos panel por medio de mínimos cuadrados ordinarios para el periodo de 1990-2010. Los resultados exponen que, la relación entre las emisiones per cápita de dióxido de carbono - CO₂ y el PIB per cápita se comporta como una curva en forma de N, demostrando que un mayor crecimiento económico puede generar beneficios transitorios por medio de la reducción de emisiones de CO₂. Los autores afirman que variables como la protección de los recursos y la eficiencia energética ejercen un rol fundamental para mitigar los impactos del consumo energético.

Se debe mencionar además a Paul y Bhattacharya (2004), ellos examinan la relación causal entre el consumo de energía y crecimiento económico en la India. Aplicando la metodología de cointegración Engle – Granger combinado con la prueba estándar de causalidad de Granger para el período 1950-1996 y técnica de cointegración multivariante de Johansen en el conjunto de variables. El estudio ha demostrado que la relación causal entre el consumo de energía y el crecimiento económico en India es mixto o conflictivo; el estudio arrojó la existencia bidireccional de la causalidad entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

De igual modo, Ocampo y Olivares (2013) estudiaron la relación existente entre el PIB, el consumo de energía, y las emisiones de dióxido de carbono, para diferentes países tales como Indonesia, Turquía, Vietnam, Colombia, Egipto, y Sudáfrica desde 1985-2007. El objetivo de la investigación es verificar el posible comportamiento de una Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para los países mencionados (CIVETS) por medio de la metodología de datos de panel no estacionarios, dichas relaciones se evalúan por medio de pruebas de cointegración y raíz unitaria. Los resultados evidencian que, si se establece una relación entre el consumo de energía, el PIB, y las emisiones de CO₂ en el largo plazo; de igual forma existe evidencia de una relación causal del PIB a las emisiones de CO₂, y de estas con el consumo energético, lo cual supone que a largo plazo el cambio climático se ve influenciado por el crecimiento económico por medio del aumento de las emisiones de CO₂, únicamente para el caso de los países CIVETS.

Además, Cheng y Lai (1997). Examina la causalidad entre la energía y el PIB y la energía y el empleo mediante la aplicación de técnicas de cointegración y la versión de Hsiao de la causalidad Granger y pruebas de Phillips-Perron (1988) a los datos taiwaneses para el período 1955-1993. El estudio encuentra que se genera causalidad del PIB al consumo de energía sin retro-alimentación en Taiwán. También se encuentra que la causalidad va del PIB a la energía, pero no al revés. Se

encuentra que la causalidad corre unidireccionalmente del crecimiento económico al consumo de energía. Los resultados de este estudio sobre la relación entre energía y PIB respaldan el estudio de Kraft y Kraft (1978), quienes encuentran que la causalidad va del PIB a la energía en los Estados Unidos.

Por su parte, Narayan y Prasad (2008) buscan examinar los efectos causales entre el consumo de electricidad y el PIB real en 30 países de la OCDE y esclarecer evidencia a favor del consumo de electricidad que causa el PIB real en Australia, Islandia, Italia, República Eslovaca, República Checa, Corea, Portugal y el Reino Unido en el período 1970-2002. Para ello, utilizan un enfoque de prueba de causalidad bootstrap y pruebas de raíz unitaria; esto con el fin de evitar comportamiento de relación espuria entre las variables y la pérdida de información a largo plazo. Los resultados arrojan evidencia a favor del consumo de electricidad que causa el PIB real en Australia, Islandia, Italia, República Eslovaca, República Checa, Corea, Portugal. La implicación es que las políticas de conservación de la electricidad tendrán un impacto negativo en el PIB real en estos países. Sin embargo, para aproximadamente 73 por ciento de los países de la OCDE los hallazgos sugieren que las políticas de conservación eléctrica no afectarán el PIB real.

De forma semejante, Arouri, Youseff, M'henni y Rault (2012) investigan la posible relación entre el consumo de energía, las emisiones de dióxido de carbono y PIB real mediante la implementación de pruebas de raíz unitarias en datos de panel y técnicas de cointegración para 12 países de Oriente Medio y los países del norte de África (MENA) durante el período 1981–2005. Los resultados demuestran que en el largo plazo el consumo de energía genera un efecto considerable en el grado de emisiones de CO₂, el PIB real exhibe una relación cuadrática con las emisiones de CO₂ para la región como un todo; sin embargo, el estudio proporciona poca evidencia en apoyo de la hipótesis de la existencia de una curva de Kuznets ambiental.

Li, Dong, Li, Liang, y Yang (2011) también aplican la metodología de raíz unitaria para datos panel, la cointegración heterogénea del panel y los OLS dinámicos para investigar el movimiento conjunto y la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico en 30 provincias de China continental desde 1985 hasta 2007. Los resultados muestran que hay una relación positiva cointegrada a largo plazo entre el PIB real per cápita y las variables de consumo de energía. Además, se obtuvo que, a largo plazo, un aumento del 1,0% en el per cápita real del PIB aumenta el consumo de energía en aproximadamente 0,48–0,50% y en consecuencia aumentan las emisiones de dióxido de carbono alrededor de 0,41 a 0,43%. El crecimiento económico en el este del país depende de la energía en gran medida y en la actualidad, China está sujeta a grandes e importantes presiones para mitigar el cambio climático causado por el crecimiento y funcionamiento de su industria.

De manera análoga Soyatas, Sari y Ozdemir (2001) propone investigar la relación entre el crecimiento económico, el consumo de energía, y las emisiones de CO₂ en Turquía desde 1960 al 2000, una economía todavía emergente. El análisis se basa en técnicas de series temporales desde una perspectiva de causalidad de Granger a largo plazo, en un marco multivariante que controla la inversión bruta de capital fijo y la mano de obra mediante el procedimiento de Toda y Yamamoto (1995). El enfoque de Toda y Yamamoto (1995) elimina la necesidad de realizar una prueba previa para la cointegración y, por lo tanto, evita el sesgo previo a la prueba y es aplicable a cualquier nivel arbitrario de integración para la serie utilizada. Los resultados arrojan que la ausencia de una relación causal a largo plazo entre los ingresos y las emisiones puede implicar que Turquía no tiene que renunciar al crecimiento económico para reducir las emisiones de carbono, sin embargo, si podría implementar algunas estrategias de eficiencia energética.

A su vez Correa, Vasco y Pérez (2005) presentan una investigación enfocada a Colombia con el fin de corroborar la veracidad de la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental y así brindar aportes a la problemática existente entre medio ambiente y crecimiento económico. El objetivo es determinar la incidencia de la influencia que el aumento en el ingreso per cápita ocasiona sobre la calidad del ambiente, estimada por medio de los principales contaminantes del aire, como el Dióxido de sulfuro (SO₂) desde 1975 hasta 1990, Dióxido de Carbono (CO₂) desde 1975 hasta el año 2000 y a partir de contaminantes del agua, como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) desde 1980 hasta 1998.

Este estudio se realizó por medio de diferentes modelos para cada uno de los contaminantes dando como resultado para las variables SO₂, CO₂ y DBO que Colombia se encuentra en una fase progresiva de la curva de Kuznets ambiental. Dicho de otro modo, como lo dicta la teoría todo crecimiento económico se traduciría en un mayor desgaste ambiental. Así pues, los autores también establecen que para mitigar el deterioro medioambiental no es suficiente frenar el crecimiento económico en contraste, dicho crecimiento debe ir evolucionando de la mano de reformas y legislaciones de cuidado ambiental así como de la correcta asignación de los derechos de propiedad; lo anterior establece que de ponerse en práctica estas medidas un país podría moverse de la fase creciente de la curva de Kuznets hacia la fase decreciente, sin tener de alcanzar el punto umbral.

Simultáneamente Chen, Chen, Hsu y Chen (2016) emplean una cointegración de panel y un modelo de corrección de errores de vectores para analizar la dinámica economía-energía-medio ambiente para 188 países para el período de 1993-2010. Los resultados empíricos indican que existen relaciones a largo plazo entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono para todos los países. Vale la pena resaltar que el consumo de energía afecta

negativamente el PIB en el mundo entero y en los países en desarrollo, pero no en los países desarrollados.

De otro lado, la causalidad unidireccional del consumo de energía a las emisiones de dióxido de carbono existe tanto en países en desarrollo como desarrollados. Esto significa que son los países desarrollados quienes deberían asumir una mayor responsabilidad sobre la eficiencia energética y la mitigación de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Por otro lado, las regulaciones ambientales relacionadas con la prevención de la degradación ambiental a medida que la economía crece necesitan ser adoptadas por todos los países.

Ahora bien, Castro (2009) analiza los resultados que se obtienen al introducir variables medio ambientales en los diferentes modelos teóricos de crecimiento económico. Este artículo tiene como objetivo estudiar las condiciones para alcanzar un crecimiento sostenible eficiente que de igual forma cumpla con la función de alcanzar un bienestar social. La razón de este estudio es verificar si la protección medioambiental está relacionada con el crecimiento económico y si es factible aumentar el crecimiento del país sin degradar o aumentar el daño ambiental. El crecimiento económico ocurre por la acumulación y revaluación del capital es decir se puede dar de manera física, natural, humana, intelectual y social cuyo eje principal es el avance tecnológico, sin embargo, argumenta que, aunque se dé un crecimiento económico esto no garantiza que se obtenga un óptimo social en la economía y que tampoco se evidencia que el crecimiento óptimo sea sostenible.

Tabla 1. *Revisión general de la literatura.*

Autor(es)	Periodo	Variabes	Metodología	Conclusión
Barreto y Campo (2012)	1980-2009	-PIB Real -Consumo de energía -Capital -Trabajo	-Datos panel no estacionarios. -Test de cointegración.	Y ↔ EC, K, L.
Gómez (2011)	1980-2015	-PIB Real -Consumo de energía.	-Vectores autoregresivos (VAR)	EC → Y, CO ₂

		-Emisiones contaminantes (CO ₂)	-Pruebas de causalidad de Granger	
Al-mulali, Lee, Mohammed, y Sheau-Ting (2013)	1980-2008	-Consumo de energía. -Emisión de dióxido de carbono. -PIB Real	-Regresión de cointegración canónica (RCC) -Pruebas de causalidad de Granger	Y ↔ EC, CO ₂ .
Iglesias, Golpe, Carmona, y Martín (2013)	1950-2008	- Dióxido de carbono (CO ₂) - PIB Real	-Pruebas de causalidad de Granger	-No hay relación a largo plazo. -Inexistencia de una curva de Kuznets ambiental. (CKA)
Lean y Smyth (2010)	1980-2006	-Consumo de electricidad. -Emisiones de dióxido de carbono. -PIB Real	-Modelo de corrección de errores vectoriales (VEC). -Prueba de causalidad de Granger.	- Elec. → Y, CO ₂ . -Existencia de una curva de Kuznets ambiental. (CKA)
Masoud, Nassor y Baka, (2015)	1975-2013	-Contaminación ambiental (CO ₂). -Consumo de energía. - PIB Real	-Test de no causalidad de Toda y Yamamoto (1995) -Pruebas de causalidad de Granger	Y ↔ EC, CO ₂ .
Squalli (2007)	1980-2003	-Consumo de energía. -PIB Real	-Prueba de no causalidad de Toda y Yamamoto (1995).	EC → Y
Saatcí y Dumrul (2013)	1960-2008	-Consumo de energía. -PIB Real	-Pruebas de causalidad de Granger	EC → Y
Catalán (2014)	1990-2010	-Emisiones per cápita de CO ₂ -PIB per cápita	-Modelo de datos panel -Estimación de la curva ambiental de Kuznets -Pruebas de causalidad de Granger	Y ↔ EC, CO ₂ . -Existencia de una curva de Kuznets ambiental (CKA)
Ocampo y Olivares (2013)	1985-2007	-Consumo de energía -Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) -PIB Real	-Datos de panel no estacionarios -Pruebas de cointegración -Pruebas de causalidad de Granger	Y ↔ EC, CO ₂ . -Existencia de una Curva de Kuznets Ambiental (CKA)
Narayan y Prasad (2008)	1970-2002	-Consumo de electricidad. -PIB Real	-Prueba de causalidad bootstrap	EC → Y
Arouri, Youseff, M'henni y Rault (2012)	1981-2005	-Consumo de energía -Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) -PIB Real	-Datos de panel -Técnicas de cointegración. -Pruebas de causalidad de Granger	EC → Y, CO ₂ Y → CO ₂ -Existencia de una Curva de Kuznets

				Ambiental (CKA)
Li, Dong, Li, Liang, y Yang (2011)	1985-2007	-PIB Real -Consumo de energía.	-Datos panel -Cointegración heterogénea del panel.	Y → EC, CO ₂ .
Soytas, Sari y Ozdemir (2001)	1960-2000	-PIB Real -Consumo de energía.	-Test de conintegración de Johansen -Modelo de corrección de errores de vectores	EC → Y
Correa, Vasco y Pérez (2005)	1975-1990 (SO ₂), 1975-2000 (CO ₂), 1980-1998 (DBO)	-Dióxido de Carbono (CO ₂) - Dióxido de sulfuro (SO ₂) -Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). -PIB Real	-Modelos VAR -Pruebas de causalidad de Granger.	Y → SO ₂ , CO ₂ y DBO. -Existencia de una Curva de Kuznets Ambiental (CKA) en fase negativa.
Castro (2009)	Revisión de la literatura económica	-PIB Real -Dióxido de Carbono (CO ₂) - Renta	-Análisis teórico de la literatura existente.	No Causality
Cheng y Lai (1997)	1955-1993	-PIB Real -Consumo de energía. -Tasa de empleo	-Técnicas de cointegración versión de Hsiao -Pruebas de causalidad de Granger.	Y → EC , EP
Paul y Bhattacharya (2004)	1950-1996	-PIB Real -Consumo de energía.	-Cointegración Engle – Granger -Pruebas de causalidad de Granger. -Test de cointegración Johansen.	Y ↔ EC
Salahuddin y Gow (2014)	1980-2012	-Consumo de energía -Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) -PIB Real	- Test de cointegración Johansen. -Pruebas de causalidad de Granger.	Y → EC EC → CO ₂
Chen, Chen, Hsu y Chen (2016)	1993-2010	-Consumo de energía -Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) -PIB Real	-Cointegración de panel -Modelo de corrección de errores de vectores	EC → CO ₂ Y ↔ EC EC → Y (-)

Nota: E→Y (o Elec.→Y) indica que la causalidad va del consumo de energía al ingreso. E←Y (o Elec.← Y) indica que la causalidad va del ingreso al consumo de energía. E↔ Y (o Elec.↔ Y) causalidad nominalmente bidireccional entre el ingreso y el consumo de energía.

La Tabla 1. resume los hallazgos empíricos entre el consumo de energía, el crecimiento económico y la calidad del ambiente en diversos países del mundo con diferentes comportamientos económicos. Como resultado, el estudio del problema muestra hallazgos contradictorios en

términos de la existencia y dirección de la relación de causalidad entre el consumo de energía y el crecimiento económico y por ende en la incidencia en las emisiones de contaminantes. Son escasos los referentes de estudio para Colombia, sin embargo, se encuentran análisis para economías con dinámicas de crecimiento aproximadamente semejantes a las del caso colombiano, por lo que se espera que la relación de causalidad entre PIB y consumo de energía presente un resultado similar al de estos. Por otro lado, se resalta la importancia de la implementación de políticas de control ambiental como herramienta para la disminución del deterioro del ambiente.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Crecimiento económico.

El crecimiento económico es el aumento sostenido del producto en una economía. Generalmente es medido como el incremento del Producto Interno Bruto (PIB) real de un determinado periodo de tiempo (Larraín y Sachs, 2002). Así definido, el crecimiento económico ha considerado como un fin deseable para las naciones dado que guarda una estrecha relación con la cantidad de bienes disponibles en la sociedad y, por ende, significa una relativa mejora en el nivel de vida de la población.

Economistas clásicos como Adam Smith, Thomas Malthus o David Ricardo abordaron el tema e introdujeron avances cruciales como la relación de la especialización del trabajo, el progreso tecnológico y la teoría de rendimientos decrecientes en el crecimiento económico de las naciones. Sin embargo, fueron los avances de Solow y Swan obtenidos en el siglo XX quienes dieron paso a la nueva era de la teoría del crecimiento económico acentuando y nutriendo las bases metodológicas utilizadas por los macroeconomistas modernos. Con los aportes de Robert Solow en 1956 se quiebra el esquema del pensamiento clásico al afirmar que la acumulación de capital

físico tan sólo explica una parte del crecimiento económico y que por tanto era necesario incluir un factor adicional que recogiera el conocimiento técnico.

La teoría principal del crecimiento económico presta poca atención al papel de la energía en el crecimiento económico. Sin embargo, para entender el rol de la energía en el desarrollo de las naciones, es necesario dar punto de partida con el papel de la energía en la producción. Considerando las teorías de la producción, la teoría económica neoclásica explica la economía como un sistema cerrado donde la producción es producida por insumos de trabajo y capital. Por lo tanto, el crecimiento económico es el resultado del aumento de insumos o su calidad; los insumos de energía tienen una importancia indirecta y se han considerado como insumos intermedios.

Los principales economistas han aceptado el concepto de factores primarios e intermedios de producción. La mano de obra, el capital y la tierra son los principales factores de producción, mientras que los bienes tales como combustibles y materiales son insumos intermedios. Este enfoque ha llevado a centrarse en la teoría de crecimiento general en los insumos primarios, especialmente el capital y la mano de obra, mientras que los insumos intermedios como la energía tienen un papel indirecto. Según ellos, la cantidad de energía disponible para la economía se da de manera endógena, aunque esté determinada por restricciones biofísicas y económicas. (Stern y Cleveland, 2004)

2.2.2. Desarrollo sostenible.

En el primer Informe del Club de Roma: “Los límites del crecimiento” elaborado en 1972 se establece como tesis principal “que en un planeta limitado, las dinámicas de crecimiento exponencial (población y producto per cápita) no son sostenibles, de esta manera se concluye que “si el actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la

producción de alimentos y la explotación y agotamiento de los recursos naturales se mantiene sin variación, alcanzara los límites absolutos de crecimiento en la tierra durante los próximos cien años” así, se introduce por primera vez el término de eco-desarrollo cuyo concepto ya se encaminaba a la formulación de objetivos sociales como la redistribución equitativa de la riqueza, paz, y educación y por otra parte, la aceptación y conciencia de los límites ecológicos al crecimiento para alcanzar una solidaridad diacrónica en búsqueda de un sistema económico más eficiente y de menor impacto. (Meadows, Meadows, Randers y Behrens, 1972; citado por Zapiain 2011.)

Por su parte, La conferencia de la Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano realizada en Estocolmo en 1972 analiza las polémicas relaciones Norte-Sur a propósito del factor ambiental donde los países ricos sostenían que el principal problema de contaminación era el excesivo crecimiento demográfico, especialmente en los países en vía desarrollo, en contraposición, los países pobres argumentaban que el problema fundamental era el crecimiento económico depredador y contaminante de los países industrializados.

Pese a las fuertes discrepancias la conferencia otorgó veintiséis (26) principios claves para la fundamentación del concepto de desarrollo y crecimiento sostenible entre los que se destaca la preocupación recurrente sobre el uso y escasez de los recursos naturales “Los recursos naturales de la Tierra, incluidos el aire, el agua, la tierra, la flora y la fauna y especialmente muestras representativas de los ecosistemas naturales, deben preservarse en beneficio de las generaciones presentes y futuras mediante una cuidadosa planificación u ordenación, según convenga”. (ONU ,1972. Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano)

Sin embargo, fue en 1980 con la “Estrategia Mundial para la conservación” desarrollada por la Unión Internacional para la Conservación (UICN) con asesoría y cooperación del Programa de las

Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el World Wildlife (WWF) que aparece por primera vez el concepto de desarrollo sostenible.

“Los seres humanos en búsqueda del desarrollo económico y del goce de las riquezas naturales deberán hacer frente a la realidad de lo limitado que son los recursos y la capacidad de los ecosistemas, y deberán tener en cuenta las necesidades de las generaciones futuras. Es este el mensaje de la conservación. Puesto que, si bien la finalidad del desarrollo es proporcionar el bienestar social y económico, el objeto de la conservación es en cambio, el de mantener la capacidad de la Tierra para sostener aquel desarrollo y respaldar la vida”. (UICN, PNUMA, WWF, 1980, p.7)

El apartado se fundamenta en que los recursos ambientales y fundamentales para la supervivencia del ser humano se deterioran y destrozan de forma creciente, a la par que se aumenta su demanda; de igual modo, las medidas necesarias para atenuar los problemas más severos necesitan tiempo pues la recuperación de la biosfera no es inmediata.

Esta estrategia se encuentra dirigida en primer lugar, a los encargados de elaborar las políticas ambientales y de crecimiento de los países, segundo, los conservacionistas y tercero, los responsables del desarrollo que incluye la industria y el comercio pues una de las prioridades de esta estrategia es demostrar que la conservación mejora las perspectivas de desarrollo sostenido y reduce los impactos negativos en el ambiente.

En 1987, el Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo escrito por la Organización de las Naciones Unidas más conocido como “Informe Brundtland” propone un plan ambiental a largo plazo para alcanzar un desarrollo sostenido para el año 2000, del mismo modo recomienda las alternativas en que las preocupaciones ambientales fuera equivalentes a una mejor cooperación entre los países con diferentes niveles de desarrollo económico y social de tal forma que se encaminara a la formulación de objetivos colectivos y complementarios que considere la interrelación entre los recursos, los hombres, el medio ambiente y el desarrollo.

Entonces, el informe Brundtland define al desarrollo sostenible como: “aquel desarrollo que satisface las necesidades de la población actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Así, se establecen los pilares de la sostenibilidad y se orientan los principios del desarrollo y crecimiento económico sostenible.

2.2.3. Emisiones de CO₂ y calidad ambiental

De acuerdo con el Sistema de Información ambiental de Colombia (SIAC), los gases de efecto invernadero (GEI) son compuestos presentes en la atmósfera y que a ciertas concentraciones contribuyen a incrementar la temperatura en todo el mundo como consecuencia de su capacidad para absorber y remitir la radiación infrarroja que surge de la superficie terrestre.

El cambio climático se entiende como una serie de cambios en las condiciones del clima, atribuido a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera; estas actividades son tanto actividades industriales, de transporte, deforestación, producción agropecuaria, como actividades de extracción y minería y uso desmesurado de energía, que producen o aumentan la liberación de este tipo de gases. Los inventarios GEI por su parte, son reportes sobre la cantidad de gases de efecto invernaderos emitidos y absorbidos hacia y desde la atmósfera en un periodo determinado. En estos inventarios reportan los 6 GEI generados por las actividades humanas: Metano (CH₄), Dióxido de carbono (CO₂), Hexafluoruro de azufre (SF₆), Óxido nitroso (N₂O), Perfluorocarbonos (PFC), Hidrofluorocarbonos (HFC). (SIAC)

En concordancia con el Ministerio de Ambiente, la creciente concentración de GEI como el metano y el dióxido de carbono provenientes de la combustión de combustibles fósiles como petróleo, carbón, gas natural y gas licuado del petróleo, utilizadas como fuentes de energía para producir electricidad, desarrollar procesos industriales y mover diversos medios de transporte a lo largo de las últimas dos décadas han agudizado el efecto invernadero provocando un aumento de

la temperatura del planeta y la calidad del aire generando efectos irreversibles como pérdida de la seguridad alimentaria, amenaza en la salud de las personas por el incremento de enfermedades respiratorias, aumento en los índices de mortalidad, desnutrición y falta de agua potable.

“La valoración y el control de estas emisiones, así como el mantenimiento de los ecosistemas que absorben y almacenan carbono son la base de las medidas de mitigación del cambio climático, por las cuales el mundo entero aboga, en diversos escenarios internacionales, para que se hagan cada vez más populares, extensivas y frecuentes, de modo tal que se logre cumplir la meta de que la temperatura terrestre no exceda los 2°C más al año 2050. Un país comprometido con la reducción de emisiones de GEI genera territorios más competitivos y economías más sostenibles. La transición a economías bajas en carbono beneficia no solo a los colombianos sino también al planeta”. (IDEAM, 2017)

Velar por la “calidad de vida” de la población implica atender en conjunto una serie de circunstancias sociales, territoriales, económicas y ambientales. Dicho así, ninguno de estos escenarios puede ser desatendido o promoverse uno más que otro. Sin embargo, en la actualidad la búsqueda de un nivel económico creciente que impulse el aumento de la producción y la renta ha tergiversado el fin principal del verdadero bienestar social. Es por esta razón que además del enfoque de reducción de la pobreza, hambruna y/o distribución inequitativa de la riqueza se dé importancia a garantizar unas condiciones óptimas de desarrollo que se encuentran relacionadas con el disfrute y seguridad de un ambiente biológicamente sano. De ahí que estrategias para el cuidado atmosférico, contaminación del aire, cuidado del agua, protección de los ecosistemas y limitación de la explotación de los recursos naturales deben entenderse como una vía más para encontrar el equilibrio en el tan anhelado bienestar.

2.2.4. Consumo y uso de la energía.

La energía es el motor del vivir humano y por ende del crecimiento social, es un requerimiento fundamental para el desarrollo económico y la estabilidad de las naciones, siendo primordial su uso y eficiencia para asegurar un adecuado nivel de calidad de vida. Durante los últimos años el

consumo de energía ha ido creciendo incesantemente con los cambios en los hábitos de vida y estructuras sociales, en consecuencia la demanda de productos energéticos sigue en aumento y esta tendencia, tanto de crecimiento como de uso de energéticos no tiene perspectiva de cambiar en el futuro venidero sino por el contrario dicha demanda de energía puede verse afectada por el agotamiento y efecto negativo que los usos de estas fuentes fósiles acarrearán para el planeta.

Las sociedades demandan grandes cantidades de energía destinadas al funcionamiento de servicios domésticos, maquinaria, transporte de mercancías y personas, generación de luz, calor entre otros; dicho de otro modo, el sistema de la vida moderna está fundamentado en un alto grado de disposición de energía.

De acuerdo con Arroyo (2017) el cumplimiento de los compromisos globales adquiridos por diversos sectores en el Acuerdo de París conlleva que para el año 2040 el uso de fuentes de energía renovable aumente su participación entre un 23,0% y un 37,0%. Pese a este compromiso, el desacoplamiento del crecimiento económico del uso de la energía y por tanto de las emisiones contaminantes requiere de medidas aún más puntuales y ambiciosas para reducir el alto grado de dependencia existente.

“La política de mitigación y adaptación al cambio climático del Acuerdo de París del año 2015 permitió que los países de América Latina y el Caribe asuman compromisos voluntarios de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y que los mismos reconozcan la importancia de limitar el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C hasta finales de siglo. Esta situación significa que el impulso ambiental propuesto por CEPAL se centre en financiar inversiones para el sector de la energía relacionadas al acceso universal a la energía, la penetración de energías renovables, la implementación de prácticas de eficiencia energética y el acceso a tecnologías menos contaminantes para la producción de combustibles fósiles” (Arroyo, 2017, pp. 8-9)

Así, en medio de un escenario de nuevas tecnologías, alto consumo, crecimiento urbanístico y poblacional, procesos industriales y demás aspectos relacionados, la conciencia por el bienestar del presente y la responsabilidad con el del futuro obliga a asumir una postura de cuidado,

protección y acción con el medio ambiente. De esta manera, la percepción de un planeta constantemente en peligro debe tenerse en cuenta tanto en la población de a pie, como en las entidades responsables de la toma y gestión de decisiones promoviendo, un uso adecuado de los suministros de energía, los recursos naturales y la eliminación de los desechos.

2.3. Marco normativo

Los impactos relacionados con las actividades de consumo que el hombre realiza cada día, tienen una incidencia directa sobre el ambiente y lo que provee, y es por esta razón que se hace necesario regular estas conductas a través de normas, decretos y leyes que permitan disminuir y mitigar de forma directa o indirecta estas consecuencias ecológicas y así asegurar un equilibrio entre crecimiento y uso de los recursos en la sociedad.

De esta manera, ante las crecientes preocupaciones ambientales surgen las legislaciones como herramienta primordial para guiar, estructurar y limitar el desgaste de las fuentes ambientales enmarcadas en un escenario de racionalidad, respeto, conciencia y extracción sostenible de tal manera que se promueva una relación armónica entre todos los agentes. La legislación ambiental tiene como objetivo principal establecer las directrices del funcionamiento y conducta institucional, así como las sanciones que garanticen el cumplimiento de las normas en pro de la transparencia y la protección ambiental del hoy y del mañana.

Colombia cuenta con decretos esenciales en torno al tema de contaminación y calidad ambiental. Entre ellos se destaca el Decreto 948 de 1995 otorgado por el Ministerio de Ambiente en el cual se reglamenta la Ley 23 de 1973 así como los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención control de la contaminación y la protección de la calidad ambiental.

Este Decreto contiene el “Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire”, el cual puede aplicarse en la totalidad del territorio nacional. Este reglamento establece los principios y normas generales para velar por la protección atmosférica, los dispositivos de prevención, control y evaluación de los incidentes de contaminación del ambiente. Estos mecanismos se proponen a establecer el marco de las acciones y herramientas administrativas con las que cuenta las autoridades gubernamentales y ambientales para la preservación y cuidado de la calidad del aire y así mitigar los efectos negativos sobre el ambiente, los recursos naturales y salud de la población ocasionados por la contaminación del ambiente a causa de químicos y sustancias tóxicas. Igualmente, se planean las medidas para penalizar las malas conductas e infracciones hacia el presente reglamento y poder ejercer control sobre el correcto cumplimiento de los mecanismos de corrección y la obligación de enmendar los daños causados en el medio ambiente y todos los recursos que se vean perjudicados. (Decreto 948,1995)

Del mismo modo, el Decreto número 1200 de 2004 elaborado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, reafirma el compromiso del país de acogerse a los compromisos internacionales de Desarrollo Sostenible y poner en marcha planes efectivos de mejoramiento ambiental, así como estrategias para el uso eficiente de los recursos ambientales dirigidos hacia la práctica de una sostenibilidad integral.

Así, el Decreto anterior establece que en concordancia con el artículo 80 de la Constitución Política de Colombia, el Estado tendrá la responsabilidad de planear el uso y transformación de los recursos renovables asegurando su sostenibilidad. Por otro lado, que los objetivos estipulados en la denominada “Cumbre del Milenio” presentados en la Declaración de la Asamblea General de las Naciones Unidas del 2000, deben vincularse en las estrategias de control ambiental de todas las regiones de Colombia conforme a las capacidades que tenga el Estado para su cumplimiento.

Asimismo, que los compromisos adquiridos de la Declaración y Plan de Implementación acordados en Johannesburgo en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible establece la necesidad de la participación activa de las Corporaciones Autónomas Regionales como autoridad ejecutora de la Política Nacional Ambiental; es por esto que es imprescindible que dentro de las funciones de estas se considere llevar a término estos compromisos y los que se deriven del artículo 63 de la Ley 99 de 1993 que buscan proteger el bienestar colectivo y el derecho a gozar de un ambiente sano. Para esto, todos los organismos deber obedecer a una misma política regulatoria de manera que los procesos que se generen sean armónicos y coherentes entre sí, de tal forma que sea posible hacer un seguimiento general de los resultados de la Política Ambiental Nacional. (Decreto 1200, 2004)

Ahora, el Decreto número 2041 de 2014 reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales con el fin de hacer seguimiento exhaustivo del proceso de licenciamiento ambiental, la gestión de las autoridades ambientales y la conciencia y responsabilidad con el ambiente en pro de velar por la protección del mismo por medio de la evaluación económica, política y social del alcance de las licencias ambientales otorgadas a los proyectos, obras o actividades de extracción y uso de fuentes hídricas, suelo y aire en todo el territorio Colombiano. De la misma forma tener conocimiento sobre los beneficios y/o posibles afectaciones a los recursos naturales renovables que deberán ser claramente identificados en el respectivo estudio de impacto medioambiental. (Decreto 2041, 2014)

En concordancia, el Decreto número 1076 de 2015 establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es la entidad encargada de la gestión del ambiente y de todos los recursos renovables con los que se cuentan en el territorio. Por ende, es el organismo responsable de la orientación y ordenamiento de las políticas y regulaciones ambientales definiendo las estrategias

que se vincularan a este objetivo y que se encaminaran hacia la protección, extracción, conservación, recuperación y uso eficiente de los recursos naturales de forma que se respeten los pilares de sostenibilidad ambiental y se minimice el impacto negativo consecuencia de las actividades productivas de los sectores económicos vinculados en la producción nacional.

Entonces, en síntesis, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible formulará, junto con el Presidente la República las políticas nacionales ambientales y de recursos naturales renovables que se garanticen el derecho de todas las personas a gozar de un medio ambiente sano y se proteja patrimonio natural y la soberanía de la Nación. (Decreto 1076, 2015)

En concordancia con lo expuesto, es el Estado en primera medida el encargado de velar por la seguridad ambiental y la preservación de todos los recursos naturales. En segunda instancia, la sociedad debe promover el uso adecuado de los mismos por medio de conductas afines con el ambiente y conciencia ambiental de las acciones individuales y colectivas. Las normativas y regulaciones son parte imprescindible para la protección y mantenimiento de los ecosistemas, así como para obtener un ambiente libre de contaminación.

2.4 Marco teórico

Este trabajo de investigación se estructura en primera instancia con los aportes de importantes economistas a la teoría del crecimiento económico y su evolución al concepto de crecimiento y desarrollo sostenible, seguido, por el análisis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) cuyo pionero fue el premio nobel Simón Kuznets en 1955, con su artículo “Economic Growth and Income Inequality” basado en su estudio sobre de la posible existencia de una relación entre el crecimiento económico (medido en PIB per cápita) y la distribución del ingreso en diferentes países. De este modo, se presentan los fundamentos teóricos y económicos bajo los cuales se han ido considerando variables ambientales dentro de las teorías del crecimiento económico y,

segundo, se aborda la explicación de la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental, así como algunas de sus críticas, finalmente, se expone de forma breve algunos aportes empíricos en relación a la validación de la CKA. La controversia sobre economía y ambiente se ha ido gestando de la mano con el desarrollo del pensamiento económico. Aunque es posible identificar en la economía neoclásica un progreso en el reconocimiento de los límites ocasionados por la degradación ambiental, estas contribuciones han sido triviales y de poca trascendencia a la luz de la dominante corriente capitalista y el propósito del crecimiento.

La inclusión de variables medioambientales en los modelos económicos de crecimiento se ha hecho de manera progresiva poniendo como punto de partida el uso de recursos no renovables. Entrada la década de los setenta, crece la preocupación por la emergencia climática y el posible agotamiento de las fuentes naturales que ponía en cuestión la sobreexplotación de los mismos y un aumento poblacional que conducía a una crisis económica y social. El comportamiento de los recursos naturales se fue vinculando a la función neoclásica de producción cuyo principal expositor fue Solow y dio paso al establecimiento de nuevas ecuaciones que abordaran la existencia y desgaste de este tipo de recursos considerando el posible crecimiento de la economía bajo criterios de sostenibilidad y con ciertas condiciones específicas.

Así, en el marco de estos aportes económicos a los nuevos retos de la ciencia económica, resaltan los esfuerzos economistas como Malthus y David Ricardo, en el reconocimiento de los límites físicos para el crecimiento poblacional y el uso extensivo de la tierra. Pigou por su parte, desarrolla un planteamiento para enmendar las fallas del mercado al comparar las desigualdades entre los costos privados y sociales debido a los efectos externos existentes. Finalmente, con base en la definición de derechos de propiedad, Coase propone correcciones para la presencia de estos efectos externos en el marco institucional. Estas posiciones representaron un progreso significativo

en la incorporación del ambiente en el estudio económico y de esta manera, el surgimiento de la economía ambiental como un método capaz de interiorizar las externalidades en la producción de utilidad. (Osorio, 2002)

Thomas Malthus, realizó importantes contribuciones a la teoría económica; sin embargo, fue principalmente conocido por su teoría sobre el crecimiento poblacional en relación con la producción de alimentos. Para Malthus, la cantidad de tierra disponible (el límite de escasez absoluta) involucra que, mientras se da un crecimiento de la población, se reducirá la oferta per cápita de alimentos como consecuencia de los rendimientos decrecientes, lo que provocaría que el nivel de vida de la población pasara a un nivel de subsistencia y se redujera el crecimiento demográfico.

De acuerdo con Gómez (2003), esta línea de pensamiento llevó a la revisión de economías de estado estacionario. En su libro “*Essay on the principle of population as it affects the future improvement of society*” (1798), Malthus pronostica que con el paso de los años se llegaría a una situación en la que el crecimiento de la población sería tal, que la existencia de alimentos sería insuficiente a razón de que la población tiende a crecer en progresión geométrica mientras que las subsistencias de alimentos lo hacen sólo en progresión aritmética, y el suelo tenía un comportamiento de rendimiento decreciente, el cual debía entenderse como recurso agotable. Este momento en el tiempo que Malthus identificaba podría traducirse en una futura crisis alimentaria

Por su parte, Ricardo expresa su pesimismo sobre las perspectivas de crecimiento a largo plazo en su apartado sobre “las restricciones ambientales” en términos de las limitaciones de la oferta de tierra de provechosa calidad y, por tanto, en el rendimiento decreciente de la producción agrícola. A largo plazo, dada la escasez de los recursos naturales el crecimiento económico desaparece; los rendimientos decrecientes no se centran en la escasez absoluta, sino que ocasionan que la calidad

de la tierra disponible sea menor, lo que impulsaría a la sociedad a moverse hacia tierras con una productividad progresivamente más baja. (Gómez, 2003)

La investigación sobre las condiciones necesarias para encaminar de forma objetiva el crecimiento de una economía dentro de los pilares de sostenibilidad no cesó y contrariamente se intensificaron los trabajos relacionados con el uso y adaptación de los modelos de crecimiento a la preocupación mundial por el agotamiento de los recursos a la vez que se ampliaba el escenario de cuestiones ambientales que se debían o no, incluir dentro de estos modelos.

El modelo de crecimiento de Solow-Swann es considerado el modelo básico de la teoría neoclásica. Este modelo se expresa de la siguiente manera:

$$Y(t) = F(A(t), K(t), L(t)) \quad (1)$$

Ecuación de acumulación de capital

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt} = I - \delta K = sY - \delta K \quad (2)$$

Otras relaciones:

$$\dot{L} = nL; \dot{A} = gA \quad (3)$$

Donde; $Y(t)$ es el producto de la economía, $K(t)$ representa el capital en un momento t , $L(t)$ es el factor trabajo, El progreso tecnológico es exógeno y está representado por $A(t)$ el cual crece a una tasa constante g , (I) es la inversión y (S) es el ahorro, (δ) Propensión al ahorro, y (n) tasa de crecimiento poblacional.

Solow, simplifica su teoría a través de algunos supuestos: primero, se trata de una economía cerrada, es decir, no hay exportaciones ni movimiento de capitales; dada esta situación el ahorro debe invertirse dentro del país; segundo, equilibrio en los mercados ($Y=C+I$), no hay intervención

del gobierno por lo cual el gasto nacional es igual a cero, por lo tanto tampoco existen impuestos (ni directos ni indirectos) ni transferencias; de esta manera al no haber impuestos el valor de la producción es igual al valor de la renta. Y tercero, la producción de una economía debe considerarse por medio de la combinación del capital: factor primordial de producción, el factor trabajo y un factor medianamente tangible que sería la tecnología o conocimiento. En consecuencia, de acuerdo con Solow el crecimiento de una economía puede darse con el aumento de alguno de los tres factores de producción y no exclusivamente por medio del capital como se creía anteriormente.

Según Castro (2009) este modelo de Solow muestra un crecimiento sostenido si existe una tasa positiva de crecimiento del progreso tecnológico. Para analizar el crecimiento sostenible hay dos vías alternativas que se presentan a continuación.

2.4.1 Modelo de crecimiento con variable de recursos naturales

Se considera una función de producción neoclásica en la cual se involucran nuevos factores de producción. El primer factor es el suelo (T), que tiene crecimiento cero, y segundo, son los recursos naturales no renovables (R), que decrecen a una tasa de extracción b . Las ecuaciones quedan de la siguiente forma:

$$Y(t) = F(A, K, L, R, T) \quad (4)$$

$$\dot{k} = sY - \delta K$$

$$\dot{L} = nL$$

$$\dot{A} = gA$$

$$R = -bR; b > 0$$

Este modelo muestra un camino de crecimiento en equilibrio. En el estado estacionario la renta per cápita aumenta de acuerdo a la ecuación (5). Dicho de otra manera, el comportamiento de la

tasa de crecimiento de la renta (Y) puede ser negativa o positiva de acuerdo el signo que posea el término entre el paréntesis. Por otra parte, aquí la variable del progreso tecnológico es el motor del crecimiento; AL representa las unidades efectivas de trabajo y FAL la productividad del trabajo. Las cantidades decrecientes de (T) y de recursos naturales per cápita van mermando el crecimiento.

$$\gamma Y = \frac{1}{Y - FkK} [F_{AL}ALg - F_R R(b + n) - F_T Tn] \quad (5)$$

En esta ecuación se demuestra que la elasticidad de sustitución entre los diferentes factores de producción es uno de los aspectos más trascendentales en la concepción del crecimiento sostenible. Resalta (Castro, 2009) Si la elasticidad = 1 o mayor que uno, el crecimiento sostenible es factible. Pero si la elasticidad es < 1, la limitación de factores de producción interrumpe con el nivel de crecimiento. Teniendo en cuenta que los recursos naturales tienen como característica fundamental su escasez, el crecimiento sostenido solo puede ser factible a través del tiempo de la mano del progreso tecnológico de manera que sea posible obtener un output cada vez mayor de inputs naturales.

2. 4.2. Modelo neoclásico con variable de polución

Para este análisis la variable de polución puede ser involucrada en los modelos de crecimiento como un resultado de la producción de un bien, es decir a medida que aumenta la producción aumenta las emisiones o como factor de producción con productividad marginal positiva.

Cuando se considera la polución como una consecuencia de la actividad productiva el modelo crea un equilibrio en el cual las emisiones contaminantes aumentan a la par con el nivel de la renta, situación por la cual el crecimiento sostenible no es factible. Para corregir esta situación, es necesario incorporar dentro de la ecuación una actividad adicional que mitigue los efectos de la contaminación generada; con esta nueva variable, si la tasa de progreso tecnológico de la actividad

de reducción de las emisiones es mayor que la tasa de crecimiento de la renta se puede entonces la economía encaminar hacia un comportamiento de crecimiento sostenible.

Ahora, para determinar si el funcionamiento de un modelo de este tipo es óptimo se incorpora una función de utilidad dentro del análisis. Para esto se da paso al modelo RCK de crecimiento óptimo; basado en el trabajo de Ramsey (1928) y posteriormente abordado por Cass (1965) y Koopmans (1965). En los modelos propuestos se involucra dentro de la función de producción neoclásica una función de maximización a largo plazo del bienestar social. En este modelo RCK se destaca dos importantes aspectos de la sostenibilidad: el fin del bienestar a largo plazo y la responsabilidad intergeneracional. La ecuación se especifica de la siguiente forma:

$$y(t) = f(k(t)) \quad (6)$$

$$\dot{K}(t) = y(t) - c(t) - \delta k(t) \quad (7)$$

$$U = \int_0^{\infty} e^{pt} u(c(t)) dt \quad (8)$$

La ecuación (6) y (7) surgen de la ecuación general del modelo neoclásico. La utilidad intertemporal es el valor presente descontado de la suma de la utilidad en cada momento del tiempo. Para este cálculo se emplea una tasa de descuento r que representa el grado de preferencia temporal del consumidor que toma decisiones sobre cuanta cantidad de su renta dedica al consumo y cuanto destina al ahorro.

Ahora, en el segundo caso para considerar la polución como un factor de producción Smulders (2000) aborda este tema y parte de considerar un modelo neoclásico con la función de producción $Y=F(A, L, K, P, N)$ donde, A es un nivel de progreso tecnológico general, K y L representan capital y trabajo respectivamente; y P y N son las variables ambientales en el modelo entendidos de la siguiente manera: (P) es el grado de polución medido en volumen de emisiones y (N) la calidad ambiental, el cual a su vez puede entenderse como un factor de producción en la medida en que la

naturaleza ofrece servicios y nuevas materias primas. Estas dos variables se relacionan por medio de la siguiente ecuación que recoge el comportamiento de la naturaleza

$$N = E(N) - P \quad (9)$$

Esta ecuación demuestra que la calidad medio ambiental fluctúa como resultado de un impacto negativo de contaminación y un efecto positivo que es la propia capacidad regenerativa de la naturaleza que representa por $E(N)$, dada que esta capacidad depende del nivel medioambiental. Así en el estado estacionario la economía muestra crecimiento sostenido a la tasa de progreso tecnológico exógeno g , al modelo. Las condiciones para un crecimiento sostenible estarían dadas por la condición de crecimiento a largo plazo y una calidad del ambiente estable con el paso del tiempo.

En síntesis, el crecimiento sostenible no es óptimo ni viable en modelos en los cuales no existe actividad de eliminación de contaminación y las emisiones por unidad de output permanecen constantes. Sin embargo, los modelos explicados con anterioridad no establecen por sí mismos un crecimiento sostenido y sólo es posible alcanzar un crecimiento temporal con estas características. Ante este panorama, se han desarrollado modelos de crecimiento endógeno cómo es el caso del modelo de rendimientos crecientes a escala, que intenten explicar de qué manera la economía apoya y remunera las actividades que sirven de eje del avance tecnológico.

De otro lado, un tema esencial en el marco de la economía y el impacto ambiental es el de la reducción de los efectos negativos en el ambiente o, dicho de otra manera, las externalidades negativas. El economista inglés Arthur Cecil Pigou discípulo del economista Alfred Marshall propone los impuestos pigouvianos en 1920 en su texto “La economía del bienestar”. Los cuales ejemplifican el importante principio de “el que contamina paga” en cuyos casos el agente

contaminador debe hacerse responsable de los daños o impactos negativos generados sobre la sociedad o sobre los agentes ajenos a la actividad económica desarrollada.

Este argumento se estructura en un mecanismo de incentivos que permitirían la regulación de los niveles de contaminación por medio de tarifas por unidad de emisión contaminante generada. La solución de Pigou menciona una falla de mercado y la necesidad que sea tratada por el gobierno central como mediador principal. Cuando el gobierno interviene se establecen una serie de impuestos cuyo monto se fija de acuerdo a la cantidad y calidad de las externalidades ocasionadas al ambiente, de esta manera cada entidad contaminante paga un valor estimado igual a las unidades totales de emisiones emitidas multiplicadas por la tasa del impuesto.

La economía del bienestar planteada por Pigou fue desafiada por “la nueva economía del bienestar” propuesta por los economistas Lionel Robbins y Frank Knight a finales de los años 30. Finalmente, Ronald Coase demostró que los resultados eficientes podrían ser generados sin la intervención del gobierno cuando los derechos de propiedad están claramente definidos. (Henríquez, 2016)

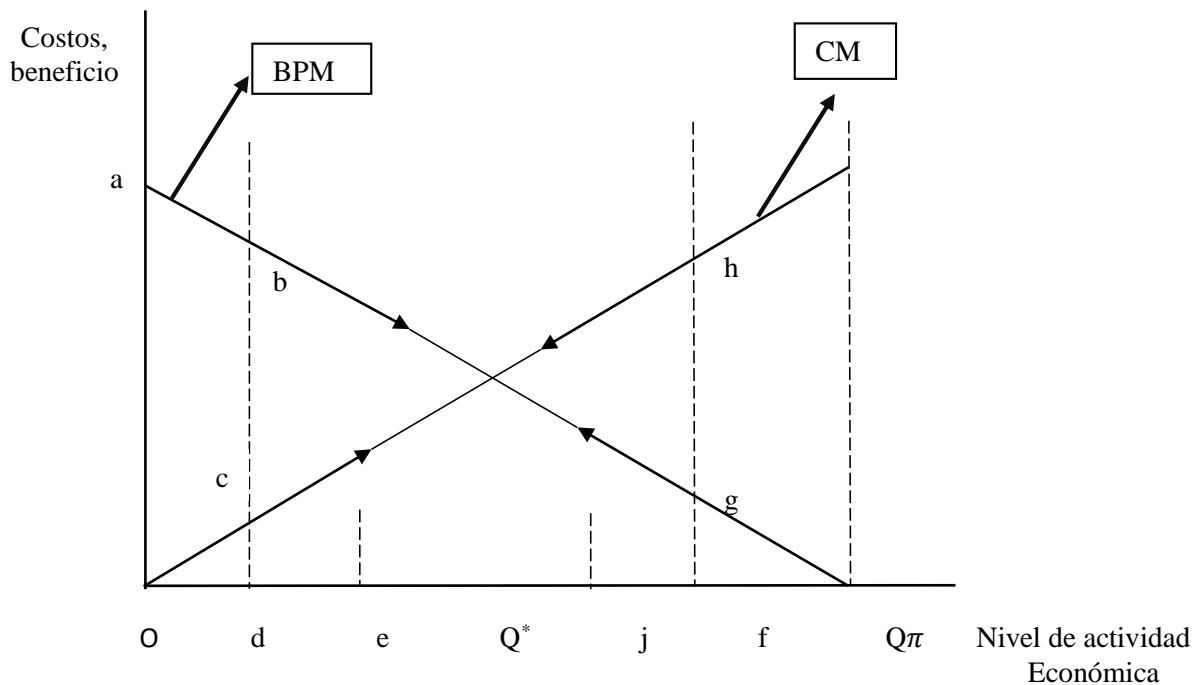
Con el planteamiento de las externalidades, se pone sobre la mesa el debate sobre cómo deberían cuantificarse dichas externalidades en casos de impacto y/o deterioro ambiental; quien debe asumir los costos y como se podría llevar a cabo una negociación donde la cantidad de partes involucradas es muy grande. Cabe resaltar es la propuesta de Coase la que por primera vez pone en consideración los efectos que las actividades productivas generan en el entorno, la cual contribuyó a su Premio Nobel en 1991.

De esta manera, en 1960 el economista Ronald H. Coase planteo la forma en la que el mercado podía abordar las implicaciones de una externalidad, así formuló el teorema del coste social que permitió comprender el problema de los costes externos y sus posibles soluciones. Este teorema

surge a partir del artículo “The Problem of Social Cost” en el cual basado en el concepto de la eficiencia de Pareto, Coase plantea la presencia de externalidades determinadas como las consecuencias generadas de un proceso productivo sobre los individuos o empresas ajenas a la industria de origen, en lo que utiliza un ejemplo para dar a conocer a grandes rasgos la problemática de estas externalidades. De igual modo, manifiesta que para que exista una externalidad en todos los casos debe haber dos partes: alguien que la cause y otro que la sufra y la negociación entre estas partes llevaría al óptimo ya que si a alguien no le rinde una utilidad o beneficio la solución éste abandonaría el negocio. (Carro, 2013)

Esta visión establece que, si hay externalidades, el grado socialmente óptimo de actividad productiva en la economía mostraría discrepancias con el nivel óptimo privado. De esta manera se argumenta que, si el mercado no ocasiona una cantidad óptima de costes ambientales, este puede ser encaminado en dicha dirección de una forma muy discreta sin ser necesaria la intervención de acciones reguladoras como sistemas impositivos o restricciones cuantitativas. A través de este análisis R. Coase fijo el concepto de derechos de propiedad.

Figura 1. Funcionamiento Externalidades ambientales de Coase



Nota: Adaptado de Correa (2015).

En la ilustración se muestra de forma general el comportamiento del sistema de derechos de propiedad desde el estudio de los costes ambientales. Las curvas que se presentan del lado izquierdo del gráfico corresponden a las utilidades marginales privadas netas de la empresa (BPMN) por el contrario, en el lado derecho de este se muestra la curva de costos marginales externos que inciden en la sociedad como consecuencia de la acción contaminante de las empresas (CME). La entidad contaminante busca establecerse en el punto $Q\pi$ donde sus utilidades se maximizan sin embargo, es en el punto Q^* en donde se ubica el óptimo social por lo que visiblemente los óptimos del mercado y de la sociedad no son compatibles. Ante esta situación, Coase propone un “negociación” consensuada entre las partes (Correa, 2015)

Para el análisis propuesto en la teoría de Coase, se considerará el caso de que la empresa incurra contaminando y los derechos de propiedad los posea quien sufre la afectación, es decir, el

contaminado. Dicho así, se da una circunstancia en la cual la parte afectada tiene el derecho de no sufrir efectos negativos por contaminación y la parte que genera la contaminación no tiene derecho a generar emisiones que afecten el bienestar del otro. En la situación planteada el punto de partida será el punto (O) o bien origen del gráfico. Con una posible negociación, se daría un desplazamiento al punto (d) el agente contaminador ganaría el sector correspondiente a Oabd en utilidad total, pero la parte que sufre la contaminación perdería Ocd sin embargo, como la zona Oabd es mayor que a zona Obd, se da posibilidad de generar una negociación entre las partes. De esta manera la empresa contaminadora ofrecería enmendar a la parte afectada en alguna cantidad mayor a Ocd y a su vez menor que Oabd y esta continuaría recibiendo utilidades; el resultado sería una mejora paretiana en tanto el movimiento hasta el punto d se tomaría como un aumento en el bienestar para ambas partes ya que al menos uno de los agentes está en mejor situación que antes y ninguno empeoró su condición inicial.

Por otra parte, Georgescu Roegen, economista y estadístico rumano, expone que las corrientes esenciales del pensamiento económico consideran el proceso económico en relación con la naturaleza como “un negocio sin aportaciones ni rendimiento”. De acuerdo con ello, podría afirmarse que, en los modelos económicos existentes, ninguno considera de forma específica y puntual la variable que representa las aportaciones de naturaleza en el sistema económico.

Los desarrollos del pensamiento económico han valorado que es factible lograr un crecimiento económico indefinido y más aún en un ambiente de continuo progreso tecnológico que haría posible solucionar numerosos problemas de escasez. Roegen realiza una dura crítica sobre estas afirmaciones, considerando que es un gran error dejar de lado el rol de los recursos y las fuentes naturales olvidando el ya existente problema de la densidad demográfica, y minimizar la ciencia económica a la formulación numérica y asegurar, como Solow (1991), que “en efecto, el mundo

puede arreglárselas sin los recursos naturales, de modo que el agotamiento es sólo un acontecimiento, no una catástrofe”.

En consecuencia, la relevancia de la energía en el sistema económico fue formalmente destacada por Nicholas Georgescu-Roegen en 1971 con su trabajo “La ley de la entropía y el proceso económico” con el cual argumentó que la dimensión física de la producción económica necesitaba una atención más explícita en la teoría del crecimiento y cuestionó la función de producción de Wicksteed al involucrar los conceptos de proceso e irreversibilidad dentro de la producción económica.

El siguiente aporte contundente, nace de una preocupación específica de la Economía que toma forma determinante en el estudio del Club de Roma, allí se advierte sobre la problemática entorno a las limitaciones de los recursos llevado a la idea de "límite de crecimiento". La preocupación evidenciada en el informe de Meadoux, Meadoux, Behrends y Randers, corresponde a la superposición de los procesos productivos lineales de la economía sobre los ecosistemas y recursos naturales planetarios que además del uso extensivo de energía para la producción de materias primas y productos de consumo para el mercado, conllevan a la generación de desechos de alta entropía y calor cuyos efectos pueden ser negativos para la atmósfera y por ende el bienestar ambiental. En consecuencia, se hacen visibles dos restricciones al crecimiento económico: la finitud de los recursos materiales y energéticos; y los límites en la capacidad de absorción de los residuos materiales y calor, por parte del Ecosistema General. (Gómez, 1977)

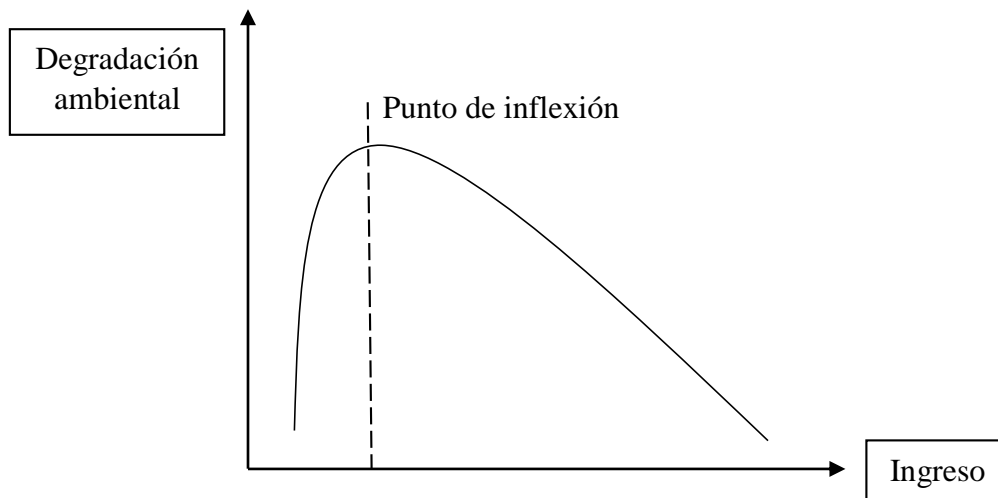
Desde entonces, y con la primera crisis del petróleo en 1973-74, otros economistas comenzaron a proponer funciones de producción dependientes de la energía que incluían energía y materiales, además de insumos de capital de trabajo y capital convencionales. (Vlahinic y Zikovic, 2010). Con este punto de partida, y con el auge de la llamada economía ambiental; se comienzan a incluir

factores medioambientales en los modelos del análisis económico y a inferir que el crecimiento económico está en capacidad de corregir sus propios problemas de impacto ambiental. Esto como consecuencia de la búsqueda de dos objetivos fundamentales; corregir los efectos de contaminación y aumentar la eficiencia en la distribución de los recursos escasos.

Por otra parte, Kuznets aborda por primera vez la teoría del crecimiento e incluye una variable adicional de calidad ambiental. La hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental revela la relación existente entre el nivel de calidad ambiental y el crecimiento económico buscando constatar que en el corto plazo el crecimiento económico causa un impacto negativo en la calidad medio ambiental (Ilustración 2.) sin embargo, en el largo plazo en la medida que las economías mejoran el nivel del ingreso per cápita, el crecimiento económico tendría un efecto positivo para el ambiente, esto considerando que el impacto en la calidad del ambiente prospera con el aumento en el ingreso dado que es factible la aplicación de mayores medidas de cuidado y uso eficiente de la energía.

Autores como Grossman y Krueger (1991) fueron los primeros en abordar la temática y seguir esta línea de investigación económica-ambiental y encontraron evidencia de una relación entre el crecimiento económico y algunas sustancias contaminantes como dióxido de azufre y partículas en suspensión del año 1985 en forma de U invertida o campana que correspondería al comportamiento de un CKA.

Figura 2. Curva de Kuznets Ambiental



Nota: Adaptado de (Parra, 2017)

Desde entonces y con el paso de los años, la hipótesis expuesta por Kuznets ha creado entre los economistas otras perspectivas de investigación. Los nuevos estudios se han enfocado en establecer la posible existencia de una relación entre el crecimiento económico de un país y su calidad medioambiental y así corroborar el comportamiento en forma de campana entre las variables mencionadas.

La evidencia empírica parece confirmar esta hipótesis a través de diferentes explicaciones entre las que se destacan las siguientes: primero, dada una serie de cambios en el nivel tecnológico de los países. En este escenario los países con mayor nivel de ingreso otorgan mayor importancia a medidas ambientalmente amigables como actividades de clasificación de los residuos y su correcta eliminación, por lo cual se supone que a medida que un país aumenta su grado de industrialización, aumenta el consumo de energía y con ello la explotación de los recursos naturales lo que ocasiona un incremento en el nivel de contaminación. Segundo, por el incremento de la demanda ambiental. Para este análisis se considera que la calidad del ambiente se comporta como un bien de lujo, es decir, la elasticidad renta de su demanda es superior a uno, lo cual establece que a medida que los

agentes incrementan la cantidad de renta, se da un incremento mayor de la demanda de servicios ambientales. No todos los estudios han determinado que la elasticidad se comporte de esta manera por lo cual esta explicación al comportamiento de una CKA continúa generando conflicto.

Una tercera explicación argumenta cambios en la estructura de la economía. Una economía que salta de una producción agrícola con bajo nivel contaminación a otra más industrial con un alto grado de emisiones contaminantes y posteriormente invierte su tendencia debido al sector servicios que contamina en menor proporción. Al igual que la explicación anterior, este argumento genera controversia en torno a las condiciones necesarias para superar cada una de estas etapas, ya que no se cumplen para la totalidad de los países.

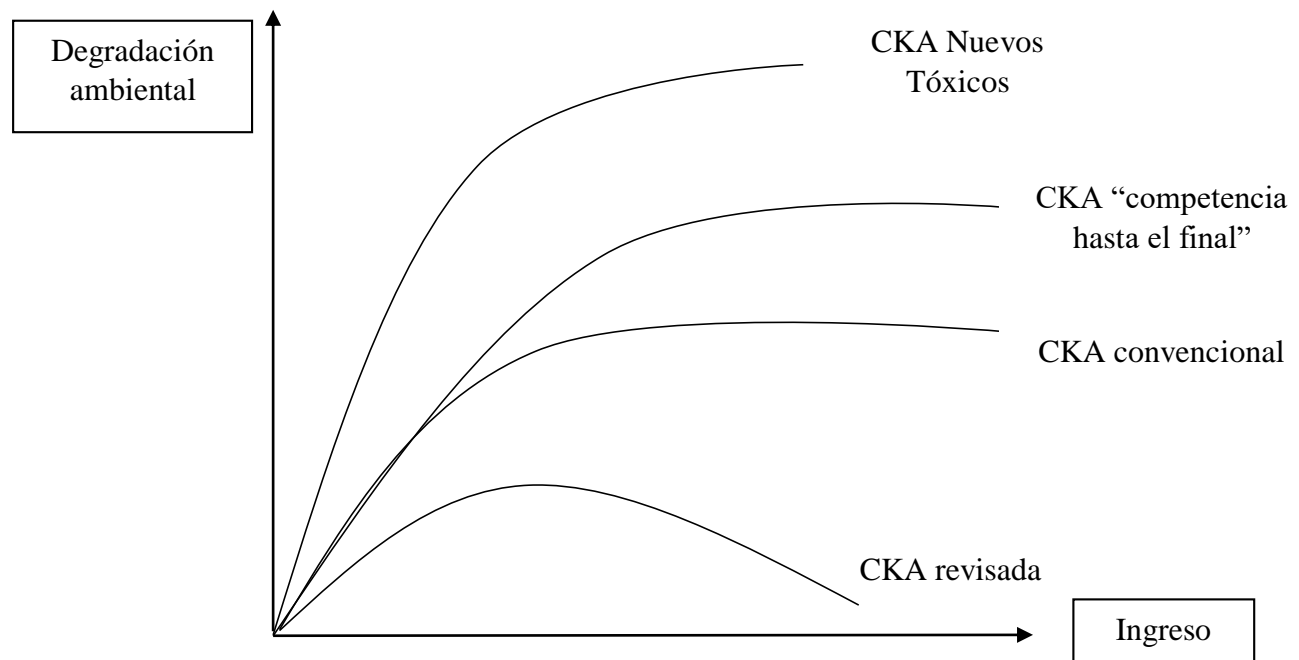
Por otro lado, se explica la existencia de una curva con forma de campana como resultado de la aplicación de políticas de control ambiental, mejores niveles de educación de la ciudadanía, impuestos a la contaminación, entre otras medidas. Sin embargo, se manifiesta que relación en cuestión se presenta únicamente en países específicos, esto como consecuencia del nivel de la economía de cada uno, el tipo de contaminante ambiental que se esté analizando, así como el nivel poblacional, entre otras cuestiones. Se resalta que la total aceptación de la hipótesis de una curva de Kuznets ambiental supone también aceptar que la degradación del ambiente es únicamente un fenómeno transitorio y que una posible solución a este comportamiento es el crecimiento económico.

Por ejemplo, Alam, Murab, Noman, Ozturk (2016) examinan los impactos del ingreso, el consumo de energía y el crecimiento de la población en las emisiones de CO₂ empleando datos de series temporales anuales para el período 1970–2012 para India, Indonesia, China, y Brasil El estudio utilizó el enfoque de prueba de límites de retardo distribuido autorregresivo (ARDL) considerando tanto los supuestos lineales como los no lineales para datos de series temporales para

las emisiones de CO₂ en países emergentes tanto a corto como a largo plazo. Los resultados muestran que las emisiones de CO₂ han tenido un aumento estadísticamente significativo con aumentos en los ingresos y el consumo de energía en los cuatro países; de acuerdo con comportamiento de una Curva de Kuznets ambiental los casos de Brasil, China e Indonesia, las emisiones de CO₂ disminuirán con el tiempo al aumentar el ingreso. Del mismo modo, Dasgupta y Heal (1980) aportaron pruebas en su libro "Teoría económica y recursos agotables" de que la relación entre el crecimiento económico y la protección del medio ambiente es complementaria.

De otra parte, Dasgupta et al. (2002) evalúan la información contemplada en torno a la propuesta de Kuznets y sugieren una nueva interpretación de la relación entre el nivel de ingreso y el impacto en el ambiente. Para esto, exponen cuatro posibles comportamientos de la curva de Kuznets ambiental que se presentan a continuación. (ver ilustración 3).

Figura 3. Visiones alternativas de la Curva de Kuznets Ambiental



Nota: Adaptado de Dasgupta et al. (2002)

El primer análisis pertenece a una CKA habitual, la cual se ha esquematizado en la ilustración 2. Seguido, se presentan dos nuevas perspectivas de la curva como función monótona creciente: por un lado, el de “los nuevos tóxicos” y por otro el de “competencia hasta el final”. La perspectiva de los nuevos tóxicos comprende las circunstancias en donde algunas sustancias contaminantes habituales se comportan como función del ingreso mostrando un arco en forma de u invertida incluso cuando estos contaminantes son sustituidos por otro tipo de componentes igualmente perjudiciales. Estos nuevos químicos abarcan desde la emisión de dióxido de carbono, sulfuros hasta sustancias cancerígenas, y demás. En concordancia, así como se minimiza el consumo de químicos comunes aparecen nuevas sustancias con los mismos efectos sobre el ambiente y el deterioro ambiental no se logra reducir.

En cuanto, a la segunda perspectiva se afirma que en países con un mayor grado de desarrollo la contaminación disminuye a razón del paso de los costos de estas emisiones a países con menores niveles de ingreso o en vida de desarrollo. Por último, se hace referencia a una curva de Kuznets ambiental revisada, desde esta perspectiva, aunque no se niega un comportamiento en forma de campana se propone que esta curva puede tener un desplazamiento hacia abajo debido a cambios en el nivel tecnológico.

Se destaca la importancia de la propuesta de la CKA revisada, en tanto que esta sugiere que cambios positivos en la calidad del ambiente son factibles para países en vía de desarrollo y que los picos de daño ambiental serán menores. (Dasgupta et al. 2002, citado por Parra (2017)).

Con respecto a lo anterior, el hecho de que no haya una relación de causalidad significativa entre el consumo de energía y el crecimiento económico podría resultar del hecho de que la electricidad se use principalmente para necesidades humanas básicas y el resto de países analizados para actividades económicas y productivas o que los aspectos políticos regionales tengan

influencia en el crecimiento de la nación. Tal es el caso de Mahadevan y Asafu (2007) quienes determinaron que Nigeria y Venezuela no exhiben una relación a largo plazo y es posible que el entorno político, así como el alto nivel de corrupción en estas economías, hayan difuminado el comportamiento económico a largo plazo. De igual modo Soytaş y Sari (2007) proponen que la falta de consenso sobre la relación causal entre el consumo de energía y el crecimiento económico puede explicarse por economías que tienen diferentes fuentes de energía y un patrón de consumo de energía diferente.

Por otra parte, Vlahinic y Zikovic (2010) identifican la hipótesis de neutralidad como el caso en el que la energía no afecta el crecimiento económico. En otras palabras, cualquier disminución o aumento en el consumo de energía no tiene efecto en el crecimiento económico. Por otro lado, se argumenta que, dado que el costo de la energía es una proporción muy pequeña del PIB, es poco probable que tenga un impacto significativo; de ahí que haya un “impacto neutral de la energía en el crecimiento”. Además de lo especificado anteriormente, también se ha argumentado que el posible impacto del uso de energía en el crecimiento dependerá de la estructura de la economía y la etapa de crecimiento económico del país en cuestión (Ghali y Sakka, 2004; Mehrara, 2007)

3. Marco metodológico

A lo largo de este apartado se describe la técnica estadística más adecuada para abordar y comprender la problemática de estudio planteada, así como las fuentes de información requeridas para la investigación y la forma en la que estas fueron recopiladas.

Para examinar la dinámica de las variables de este trabajo de estudio, se parte del análisis descriptivo de la serie temporal anual del PIB (per cápita a precios constantes), el consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) y emisiones de dióxido de Carbono -CO₂ (toneladas métricas per cápita). El estudio se realizó a partir de los datos del Banco Mundial para Colombia en el

periodo 1971-2014, con metodología de Vectores Autorregresivos (VAR) y pruebas de causalidad de Granger. Dicho análisis se realizó a través del estadístico R (3.4.6) un software idóneo para el análisis econométrico de las series de tiempo gracias a la amplitud de librerías, funciones y técnicas estadísticas y gráficas que posee y que permite una estimación minuciosa de los modelos dinámicos.

Los datos suministrados por el Banco Mundial fueron recopilados a través de diversas fuentes para cada una de las variables del estudio. La información de cada una se recopila en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 2. *Descripción de las variables de estudio*

Variable	Fuente	Descripción
Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)	Agencia Internacional de la Energía (AIE)	Medida de la producción de las centrales de energía y de las plantas menos las pérdidas ocasionadas durante la distribución, transformación y consumo de la energía.
Emisiones de dióxido de carbono – CO₂ (toneladas métricas per cápita)	Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, Estados Unidos).	Incluyen el dióxido de carbono resultado de la quema y explotación de combustibles fósiles (combustibles sólidos, líquidos, gaseosos) y la fabricación de cemento
Crecimiento económico- (PIB per cápita)	Cuentas nacionales del Banco Mundial y cuentas nacionales de la OCDE.	Producto interno bruto dividido por la población a mitad de año. Los datos están expresados en moneda local (UMN) a precios constantes.

El modelo econométrico VAR fue planteado por primera vez por Christopher Sims (1980) Nobel en Economía en el año 2011 en su trabajo *Macroeconomic and Reality*. Este modelo se define como un sistema de variables que logra que toda variable del modelo posea una función tanto de su pasado como del pasado de las otras variables endógenas. De acuerdo la literatura, el VAR es un modelo de autocorrelación simple (AR) para series de tiempo múltiple la cual desea obtener esencialmente las interacciones dinámicas de las variables a través de la función impulso respuesta (FIR). Los modelos VAR en términos generales trabajan bajo el supuesto de que las variables económicas tienden a moverse a lo largo del tiempo, unas alrededor de las otras y también a estar autocorrelacionadas.

El modelo vectorial autoregresivo (VAR) posee un orden, que equivale a la cantidad de retardos con que las variables entran en la ecuación. Un modelo VAR de orden n , con variables endógenas, se especifica de la siguiente manera:

$$Y_t = A_0 + \sum_{s=1}^n A_s Y_{t-s} + GW_t + u_t \quad (10)$$

Donde Y_t es un vector columna $k \times 1$; n es el orden del modelo VAR, o número de retardos de cada variable en cada ecuación, y u_t es un vector $k \times 1$ de innovaciones, es decir, procesos sin autocorrelación, con $\text{Var}(u_t) = \Sigma \text{ constante}$. W_t es un vector de variables exógenas.

Por ejemplo, se hace mención de modelos VAR de orden 1, en estos las variables explicativas aparecen únicamente con un retardo. Un vector autorregresivo de orden uno, VAR (1), tiene su forma primitiva de la siguiente manera (Enders, 2010)

$$y_t = b_{10} - b_{12}Z_t + \gamma_{11}y_{t-1} + \gamma_{12}Z_{t-1} + \varepsilon_{yt} \quad (11)$$

$$Z_t = b_{20} - b_{21}y_t + \gamma_{21}y_{t-1} + \gamma_{22}Z_{t-1} + \varepsilon_{zt}$$

Ó

$$\begin{pmatrix} 1 & b_{12} \\ b_{21} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_t \\ z_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{10} \\ b_{20} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{t-1} \\ z_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{yt} \\ \varepsilon_{zt} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Lo que es equivalente,

$$Bx_t = \Gamma_0 + \Gamma_1 x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (13)$$

Donde el vector x_t reúne las variables endógenas, la matriz B agrupa los coeficientes de los efectos contemporáneos del vector x_t , mientras la matriz Γ_1 contiene los coeficientes de los efectos pasados sobre x_t .

Antes de determinar el impacto entre las variables del modelo, se procede a analizar si las variables se causan entre sí, de esta manera se especifica la causalidad predictiva entre las mismas, y en qué dirección ocurre. Para ello se hace uso de la prueba de causalidad de Granger, donde la hipótesis nula es que la variable X no causa a Y .

Esta prueba consiste en la elaboración de dos modelos, uno restringido y el otro sin restringir, para el primero se realiza una regresión de Y con los términos rezagados de la misma, pero sin incluir los términos rezagados de X . Para el segundo modelo se realiza la misma regresión de Y , pero incluyendo tanto los términos rezagados de Y y X (Gujarati y Porter, 2004). Ahora, para probar la hipótesis nula se aplica la prueba de Fisher:

$$F = \frac{(SCR_R - SCR_{NR})/m}{SCR_{NR}/(n-k)} \quad (14)$$

Donde SCR_R es la suma de cuadrados del modelo restringido y SCR_{NR} es la suma de cuadrados del modelo no restringido, siendo m y $(n-k)$ el número de grados de libertad. Si el valor F calculado excede al crítico al nivel de significancia especificado, se rechaza la hipótesis nula, es decir, los valores rezagado de X causan a Y (Gujarati y Porter, 2004). Luego, se procede del mismo modo para determinar si Y causa a X .

La función impulso respuesta, es una forma de estimar los resultados en los modelos de vectores autorregresivos (VAR). Esta función muestra la respuesta de las variables explicadas ante cambios en los errores (Universidad Autónoma de Madrid, 2004). La función se puede exponer y formular de la siguiente manera para un modelo VAR con 2 variables:

$$Y_{1t} = a_{11}Y_{1t-1} + a_{12}Y_{2t-1} + \dots + \varepsilon_{1t} \quad (15)$$

$$Y_{2t} = a_{21}Y_{1t-1} + a_{22}Y_{2t-1} + \dots + \varepsilon_{2t}$$

En concordancia, un cambio de cualquier variable del modelo en un periodo i logrará un choque tanto en la variable que cambio como en las demás, por lo cual, a partir de la estructura dinámica del modelo se podrá apreciar cómo el cambio de una variable afecta a la misma y al resto de variables explicadas en un largo plazo.

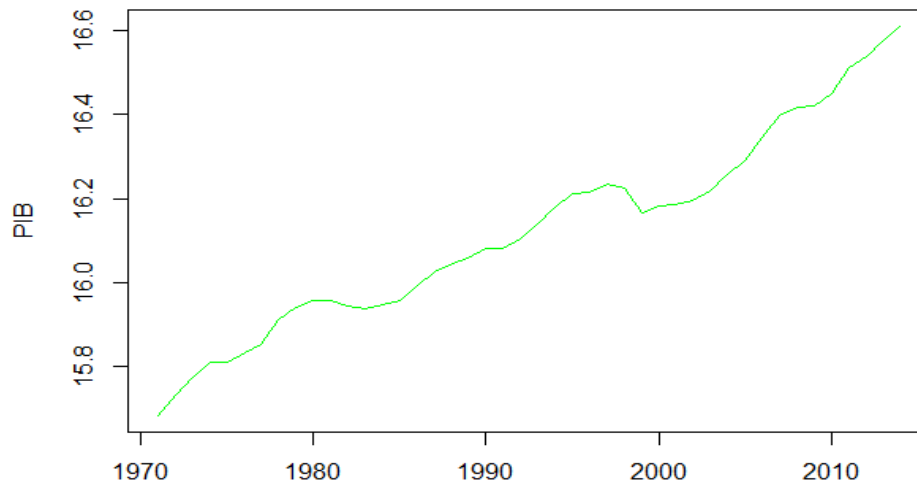
4. Análisis de resultados

La economía colombiana obtuvo un crecimiento significativo durante la segunda mitad del siglo XX, los sistemas de producción de productos como el café, cuero, flores, maíz, banano, palma entre otros se especializaron y la búsqueda de nuevas formas de negociación, políticas, acuerdos de libre comercio y producción garantizada mejoraron. La importación de bienes igualmente tuvo un aumento en términos reales como consecuencia del rápido crecimiento de la producción de bienes y servicios en el país, causando un aumento en la demanda interna que era en gran medida cubierta por los bienes importados.

De acuerdo con Cárdenas (2005) en contraste con las tendencias económicas globales generales, la minería -esencialmente el petróleo y el carbón- registró una firme expansión

durante los años ochenta y noventa y del mismo modo los servicios experimentaron un alto crecimiento durante el período 1990-2000.

Gráfico 1. Producto Interno Bruto per cápita (UMN a precios constantes) para Colombia 1971-2014



Por otro lado, a inicios de la década de los 90 el gobierno de Colombia pone en marcha una serie de reformas con el fin de motivar un aumento en el acceso de capitales extranjeros y así lograr un incremento de la eficiencia en la consecución y asignación de recursos crediticios esto, junto con una serie de condiciones favorables como el gran dinamismo de la demanda interna potenciaron el desempeño económico alcanzado.

Sin embargo, a fin de década entre los años 1997-1999 la dinámica económica sufre una de las crisis más importantes que implicó tanto una desaceleración del producto (-4.2% en 1999) y por ende el crecimiento en la tasa de desempleo alrededor del 22% como una crisis bancaria de importante impacto, que implicó fuertes consecuencias en materia de crecimiento económico obligando la intervención continuada del gobierno para superarla.

Frente al comportamiento de la economía colombiana en la década del 2000, Botero, López, Posada, Ballesteros y García, (2015) afirman que Colombia ha logrado dos períodos de

crecimiento notables separados por el principio de la crisis en los Estados Unidos como consecuencia de la Gran Recesión. Por un lado, el periodo comprendido desde 2003 hasta 2007 en el cual se logró un crecimiento del 5,5% como respuesta a las políticas propuestas por Álvaro Uribe durante su gobierno en el cual el país llago logró destacarse como una de las economías emergentes con mejor rendimiento.

Segundo, el periodo comprendido desde el 2010 hasta el 2014, a lo largo de estos años el país tuvo una serie de condiciones positivas que lo llevaron a registrar un crecimiento de 4,8% aproximadamente, disminuir del 41,6% en junio de 2009 al 28,2% en junio de 2015 la pobreza monetaria; asimismo lograr un nivel de inversión del 29,1%; y aumentar de un nivel de 25.355.7 millones de dólares en diciembre de 2009 (10,8 % del PIB) a 47.323.1 en diciembre de 2014 (12,5 % del PIB) las reservas internacionales.

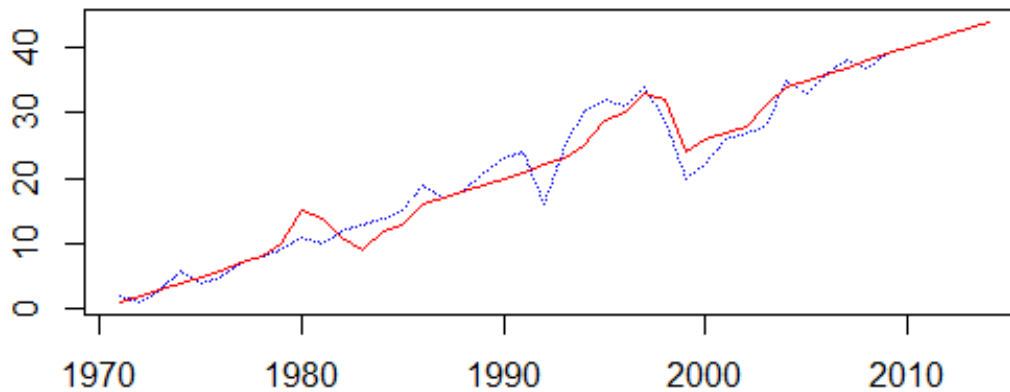
De esta manera y como se evidencia en el (gráfico 1.) Partiendo de las estadísticas disponibles es posible confirmar que Colombia en la última década ha mostrado un comportamiento positivo de la economía que se evidencia en el análisis de su PIB. Dicho esto, en los últimos años el país mostro importantes avances en materia económica, logrando incluso no verse afectado en grandes proporciones durante la crisis económica mundial generada en el 2008, evidenciando un crecimiento de 1,6%. En promedio, Colombia expuso un 3,8% de crecimiento anual del PIB y un 2,2% del PIB per cápita. De acuerdo con Marrugo (2013), al analizar el funcionamiento de los sectores de la económica colombiana, se podría deducir que dicho comportamiento responde en gran parte al fortalecimiento del sector minero-energético; el cual manifiesta fluctuaciones favorables desde el 2005 permitiéndole alcanzar un crecimiento de 9,6%, 11,0% y 12,2% en 2008, 2009 y 2010 respectivamente.

Ahora bien, de acuerdo con la teoría una vez el nivel de riqueza de un país se incrementa, el funcionamiento de la economía requiere mayor cantidad de energía para el desempeño de su industria, garantizar la movilidad y el transporte, consumo doméstico y asegurar la creciente demanda de consumo de la población para recargar electrodomésticos y equipos tecnológicos. (García, 2016)

Colombia no es ajena a este comportamiento y ha sido significativo el incremento en la demanda de energía a lo largo del tiempo; el país ha aumentado de manera simultánea el crecimiento de la economía junto con el consumo de energía. De este comportamiento se deduce que gran parte del funcionamiento de nuestra economía depende de la disponibilidad de fuentes de abastecimiento energético, que al igual que el consumo ha ido incrementando.

Entre el periodo de 1975 y 2012 el consumo de energía eléctrica aumento casi el doble (ver gráfico 2) a su vez que el PIB per cápita se cuadruplico. El resultado anterior se explica en cierto modo por la transición de fuentes de energía poco eficientes como el carbón y la leña hacia fuentes con mayor eficiencia como las hidroeléctricas y otras fuentes de energías renovables para proporciona el consumo energético del país. Durante 2000 y hasta el 2015, los impulsores de energía más importantes de los cambios en el consumo fueron la actividad y los efectos de la población, principalmente debido a los sectores de transporte e industria.

Gráfico 2. Consumo de energía y PIB para Colombia 1971-2014



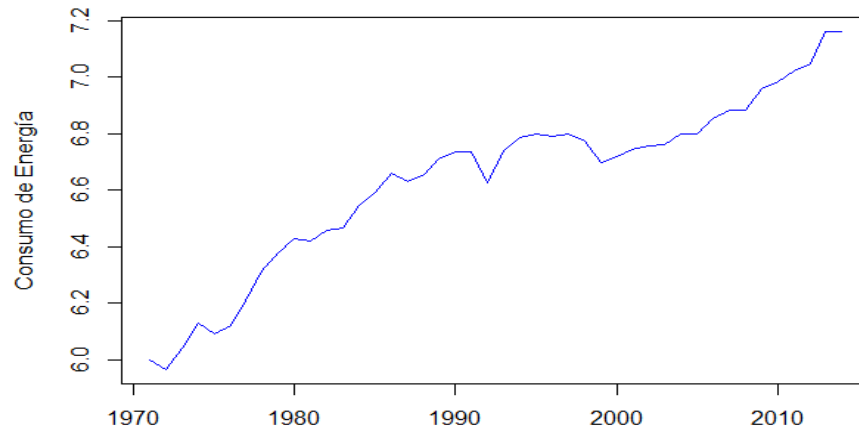
Nota: Producto interno bruto (PIB) per cápita: rojo. Consumo de energía eléctrica: línea discontinua azul.

A lo largo del siglo el país ha mejorado crucialmente sus indicadores de intensidad energética. Sin embargo, este comportamiento no corresponde únicamente a un aumento en la eficiencia energética, sino que también puede atribuirse al resultado de otros aspectos macroeconómicos como la transformación en la matriz de producción nacional y los cambios en la estructura del sector.

Uno de los acontecimientos de mayor relevancia en el sector, se da en 1992 con más grande racionamiento de energía a nivel nacional de la historia causado por el fenómeno de El niño que no permitió que las empresas encargadas de la generación y suministro de energía cumplieran con niveles requeridos para la satisfacer la demanda, por ende, se da un importante desequilibrio en la oferta de energía en todo el país (ver gráfico 3). Así, todas las regiones de Colombia sufrieron los impactos de la ineficiente planeación del sector, llevando a que el gobierno decretara un “Estado de emergencia económica y social” y se expidieran gran cantidad de decretos, entre los que destaca el Decreto 700 de ese mismo año, con el cual se asumieron medidas relacionadas con el endeudamiento, la contratación pública, el presupuesto y la reestructuración de las entidades, con

lo que se pretendía salir con el menor impacto posible de dicho estado de alarma y lograr en un tiempo prudente la recuperación económica y de cobertura energética.

Gráfico 3. Consumo de Energía Eléctrica (kWh per cápita) para Colombia 1971-2014



Por otra parte, el Decreto 2119 de 1992 modificó el entonces Ministerio de Minas y las leyes 142 y 143 de electricidad y servicios públicos, creando nuevas autoridades de organización, regulación, planeación y evaluación de dicha entidad. Así mismo, el Decreto 28 de 1995, estableció las directrices de operación de la Unidad de Planeación Minero Energético- UPME y el Decreto 30 de 1995 proporcionó la organización interna de la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG. Las leyes 143 y 142 de 1994 otorgaron a la CREG diferentes herramientas para la regulación energética enfocadas en recuperar y poner en marcha las condiciones necesarias para respaldar el funcionamiento de la oferta del sector, promoviendo la libre competencia en el suministro y aplicando los métodos idóneos para calcular las tarifas de energía de forma regulada bajo estándares económicos, de competencia, ambientales y sociales.

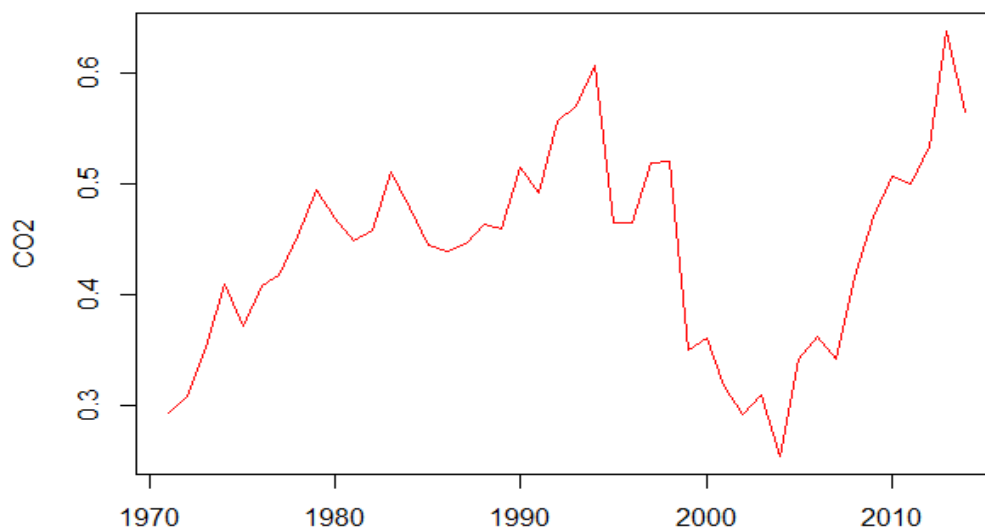
Así mismo, a la CREG, se le otorgó la responsabilidad de crear regulaciones específicas para la autogeneración y cogeneración de electricidad, crear el manual de operación para realizar el seguimiento del sector y establecer las pautas para la estructuración del compromiso de venta

garantizada de energía eléctrica, también la coordinación del funcionamiento del Sistema Interconectado Nacional para evaluar el mercado mayorista de gas y energía como combustibles.

Siendo este el panorama, el sector energético en el año 1995 crea la Bolsa de Energía con la que se buscaba exaltar la nueva formación y organización del mercado energético, así como las nuevas reglas para la realización de las transacciones de energía eléctrica. Dada esta nueva estructuración, se pone en funcionamiento un modelo de libre competencia de la oferta y la demanda y se genera un mercado mucho más dinámico y transparente de este modo; las diferentes entidades generadoras comienzan a transar en la bolsa causando la posterior división del mercado logrando un incremento del 32% en la capacidad instalada en 2005. (Corzo, 2013)

Por otra parte, de acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM (2016), en su último Inventario de Gases Efecto Invernadero de Colombia se establece que en el 2012 fueron emitidas 258 millones de toneladas de CO₂ equivalente, esta es la información con mayor vigencia con la que se cuenta en el país y desde la cual se toman importantes medidas a nivel municipal, regional y nacional.

Gráfico 4. Emisiones de dióxido de Carbono (toneladas métricas per cápita) para Colombia 1971-2014



El estudio además determinó que en un periodo de 20 años las emisiones nacionales se incrementaron en un 15% (35 millones de toneladas de CO₂ equivalentes) pasando de 245 Mton en el año 90 a 281.5 Mton en el año 2010. Históricamente el sector forestal, agropecuario, energía y transporte son los que presentan un mayor aporte en el total de emisiones nacionales. Por su parte, las mayores absorciones están dadas por los cultivos permanentes incluidos dentro del grupo agropecuario. En todos los sectores se ha dado una tendencia creciente en emisiones, excepto para el sector forestal en el cual, a partir del 2005, se ha visto una reducción de las emisiones, debido principalmente a la disminución de la deforestación.

En cuanto al sector energético y de minas las emisiones respecto al uso de los combustibles fósiles corresponden a un 36% de su uso en las centrales termoeléctricas, posteriormente se encuentra la quema de combustibles en el sector de producción, perforación y refinación de gas y petróleo (Gráfico 4). El comportamiento de las emisiones de carbono y gases de efecto invernadero ha presentado variaciones importantes, sin embargo, ha ido mostrando una tendencia al alza relacionada con la extracción y explotación de combustibles fósiles, así como por el uso de químicos relacionados con esta actividad. Teniendo en cuenta que el país creció en la producción de hidrocarburos y el sector de minas y energía de igual forma crecieron las emisiones anuales en 2,5% y 6,3% en los años 1990 y 2006; en el periodo de 2006 a 2010 el 73, 8% hace referencia a las emisiones de CO₂, ocupando el sector de la industria petrolera y de gas natural el mayor crecimiento.

Gráfico 5. Emisiones y absorciones GEI (M.ton CO₂ eq.) sector de Minas y Energía 1990-2012



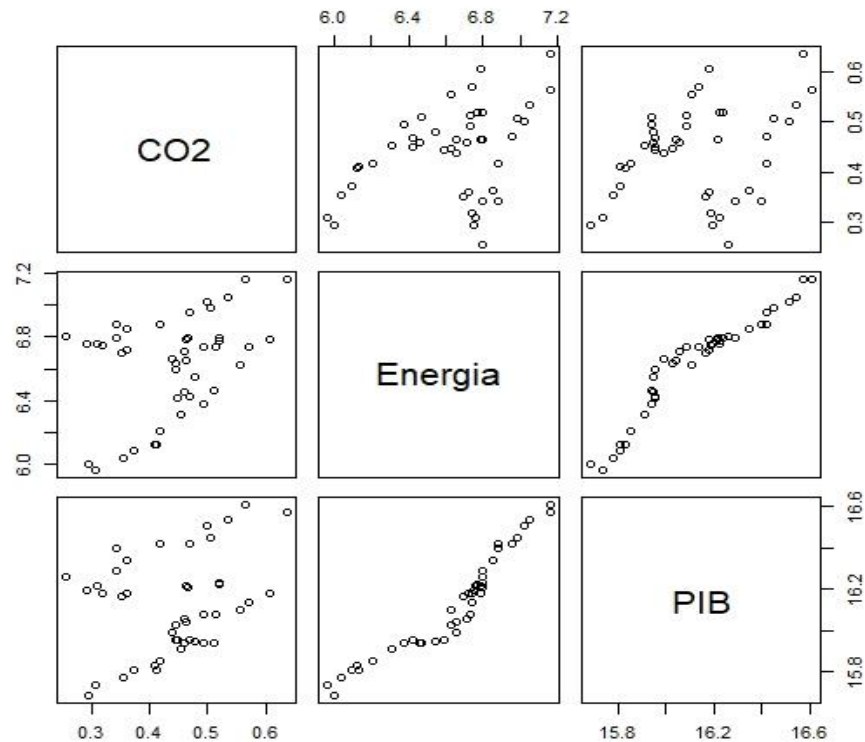
Nota: Adaptado de IDEAM, Inventario nacional departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. 2016)

El aumento del sector residencial equivale el 2% del total de las emisiones de gases invernadero, dentro de este porcentaje las emisiones de CO₂ representan el 65,40% y son generadas fundamentalmente por el alto consumo de gas natural y el continuo crecimiento de gases refrigerantes en los últimos años. El aumento general de las emisiones de GEI del sector se vincula esencialmente con el incremento de la población colombiana a lo largo de las últimas décadas.

Tabla 3. *Matriz de correlación de las variables*

Matriz de correlación de las variables.	Emisiones de CO ₂	Consumo de energía	PIB per cápita
Emisiones de CO₂	1.0000	0.3878	0.3085
Consumo de energía	0.3878	1.0000	0.9485
PIB	0.3085	0.9485	1.0000

Gráfico 6. Diagrama de correlación de las variables



Para contrastar la relación existente entre las variables se realiza una matriz de coeficientes de correlación (Tabla 3). En los resultados encontrados se puede observar que las correlaciones son significativamente altas entre el crecimiento económico y el consumo energético con un valor de 94%, mientras que con las emisiones de dióxido de carbono la correlación es un poco más baja alrededor del 30,8%; en cuanto al consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono la relación aumenta con un valor de 38,7%. Por tal motivo se evidencia una relación directa entre PIB, consumo de energía y emisiones de CO₂ en el caso colombiano para el periodo 1971-2014. Cabe resaltar que con estos resultados no hay evidencia de problema de colinealidad en las variables.

4.1 Identificación y estimación del modelo VAR

En la adecuada identificación y estimación del modelo es primordial que las variables consideradas en el estudio cumplan la condición de estacionariedad, para este fin, se realiza una serie de transformaciones usando logaritmo en las series y en la primera diferencia de estas. Para encontrar la transformación idónea se procede a aplicar la prueba de Dickey-Fuller Aumentada para evaluar raíz unitaria seguido, se realizan las pruebas de Kwiatkowski, Phillips, Smichdt y Shin (KPSS), para así ayudar a determinar si las series son estacionarias. Para aplicar la prueba de raíz unitaria de Dickey Fuller Aumentada (ADF) se establecen las siguientes hipótesis de trabajo; Ho: La variable x no tiene una raíz unitaria y Ha: La variable x tiene una raíz unitaria. De esta manera se aplica la prueba ADF sin constante ni tendencia.

Tabla 4. *Test Dickey-Fuller Aumentado*

Variable	Término determinístico	Valor de la prueba	Rezagos	Valor crítico		
				1%	5%	10%
PIB	sin constante y tendencia	2,7994	1	-2,62	-1,95	-1,61
	constante	-2,9192	1	-3,58	-2,93	-2,60
	con tendencia	-3,4963	1	-4,15	-3,50	-3,18
Log (PIB)	sin constante y tendencia	2,719	1	-2,62	-1,95	-1,61
	constante	-3,527*	1	-3,58	-2,93	-2,60
	con tendencia	-3,613*	1	-4,15	-3,50	-3,18
Δ Log(PIB)	sin constante y tendencia	1,7383	1	-2,62	-1,95	-1,61
	constante	-5,0016*	1	-3,58	-2,93	-2,60
	constante y tendencia	-4,9353*	1	-4,15	-3,50	-3,18
ENERGÍA	sin constante y tendencia	3,2669	1	-2,62	-1,95	-1,61
	constante	-4,314*	1	-3,58	-2,93	-2,60
	con tendencia	-4,3232*	1	-4,15	-3,50	-3,18
Log(ENERGÍA)	sin constante y tendencia	3,3674	1	-2,62	-1,95	-1,61
	constante	-4,7693*	1	-3,58	-2,93	-2,60
	con tendencia	-4,8148*	1	-4,15	-3,50	-3,18
Δ Log(ENERGÍA)	sin constante y tendencia	1,4359	1	-2,62	-1,95	-1,61
	constante	-5,872*	1	-3,58	-2,93	-2,60
	con tendencia	-5,7943*	1	-4,15	-3,50	-3,18
CO ₂	sin constante y tendencia	0,6816	1	-2,62	-1,95	-1,61

	constante	-5,1362*	1	-3,58	-2,93	-2,60
	con tendencia	-5,0733*	1	-4,15	-3,50	-3,18
Log(CO2)	sin constante y tendencia	0,4808	1	-2,62	-1,95	-1,61
	constante	-5,0228*	1	-3,58	-2,93	-2,60
	con tendencia	-4,9589*	1	-4,15	-3,50	-3,18
ΔLog(CO2)	sin constante y tendencia	-1,6482	1	-2,62	-1,95	-1,61
	constante	-5,5593*	1	-3,58	-2,93	-2,60
	con tendencia	-5,4879*	1	-4,15	-3,50	3,18

Para determinar si las variables cumplen con el supuesto de estacionariedad se realiza el test ADF que tiene como hipótesis nula (H_0) que la variable no posee raíz unitaria, es decir, no es estacionaria y como hipótesis alternativa (H_a) que la variable es estacionaria, para verificar este comportamiento se emplea la tabla 1. evidenciando los valores de la prueba y los valores críticos, para cumplir con el supuesto de variable estacionaria debemos rechazar la hipótesis nula, en nuestro caso el valor de la prueba debe ser menor a los valores críticos al 5%, por lo tanto, es posible constatar que en la variable del PIB sin constante y tendencia el valor de la prueba es de 2,7994 este estadístico ADF posee unos valores de la prueba mayor a los valores críticos establecidos, por lo cual se acepta la hipótesis nula de que la variable no es estacionaria.

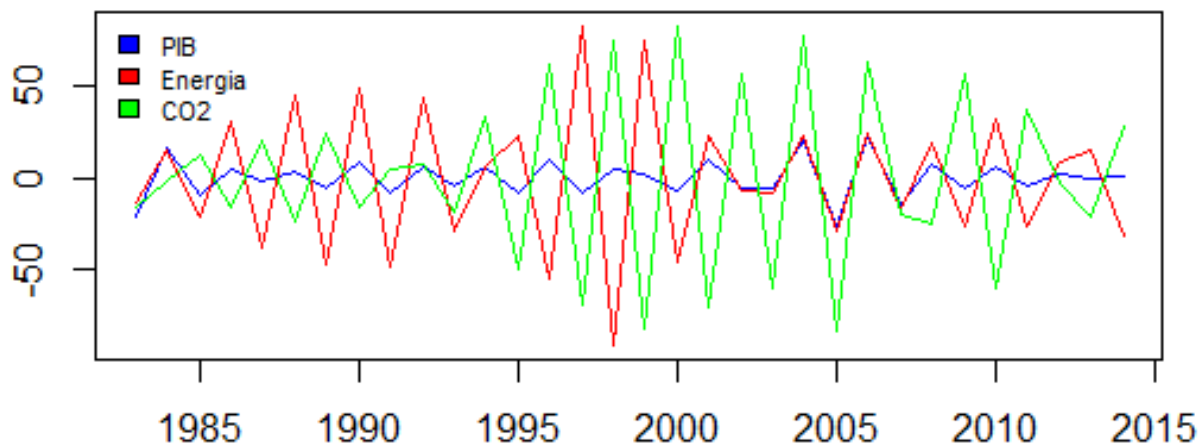
Por otra parte, para el caso de la variable del logaritmo del PIB sin constante y tendencia no cumple con el supuesto de estacionariedad teniendo en cuenta que el valor de la prueba es de 2,719 siendo mayor a los valores críticos determinados, en cuanto a con constante y tendencia hay evidencia de que se rechaza la hipótesis nula y por ende la variable es estacionaria. Ahora bien, la diferencia del logaritmo del PIB con constante y tendencia arroja un valor de -4,9353, este resultado es menor a los valores críticos por lo cual se rechaza la hipótesis nula de que la variable no tiene raíz unitaria y se considera estacionaria.

Para la variable de consumo de energía sin constante y tendencia se determina un valor de 3,2669 siendo este mayor a los valores críticos del 1%, 5% y 10% como consecuencia la variable

no es estacionaria, sin embargo, para el logaritmo del consumo de energía con constante y tendencia el valor obtenido en la prueba es de $-4,7693$ y $-4,8$ indicando que son menores a los valores críticos y por tanto caen dentro de la zona de rechazo de la hipótesis nula. La diferencia del logaritmo del consumo de energía muestra valores de $-5,872$ con constante y $-5,7943$ con constante y tendencia lo que permite inferir que se rechaza la hipótesis nula y cumple con el supuesto de estacionariedad.

Finalmente, la variable de CO₂ se rechaza la hipótesis nula en el término determinístico con constante y tendencia dado que arroja un valor de $-5,1362$ y -50733 respectivamente siendo inferiores a los valores críticos. Del mismo modo el logaritmo del CO₂ y diferencia del logaritmo cumplen con la condición de estacionariedad rechazando la hipótesis nula de que variable no tiene raíz unitaria. En síntesis, las variables del logaritmo cuando ya está diferenciada y transformada es estacionaria dado que se encuentra en la zona de rechazo tanto al 1% como al 5% y 10%.

Gráfico 7. Serie del PIB, Consumo de Energía y CO₂



Luego de realizar las transformaciones pertinentes para que las series cumplieran la condición de estacionariedad, se sigue a identificar la cantidad idónea de rezagos para poder dar explicación sobre la forma en la que se comportan las variables en el modelo VAR planteado.

Para este objetivo, se evalúan los criterios Akaike (AIC), Hanna-Quin (HQ), Schwarz (SC) y el Error de predicción final (FPE) donde se selecciona la cantidad de rezagos en los cuales estos criterios muestren el menor valor antes de un aumento en los mismos. En concordancia con los criterios AIC, HQ, SC y FPE se obtiene ocho rezagos como la cantidad de retardos idónea para la correcta especificación del modelo. Se evidencia que las raíces del polinomio característico son inferiores a uno, por lo cual el modelo VAR estimado con 8 rezagos cumple la condición de estabilidad.

4.2 Validación del modelo VAR

Tabla 5. *Criterio de rezagos óptimos del modelo*

Número de rezagos	Criterios de selección			
	AIC(n)	HQ(n)	SC(n)	FPE(n)
1	- 1,9330E+07	-1,9103E+07	-1,8636E+07	4,0638E-03
2	- 1,9117E+07	-1,8755E+07	-1,8007E+07	5,1673E-03
3	- 1,8764E+07	-1,8267E+07	-1,7238E+07	7,8130E-03
4	- 1,8923E+07	-1,8289E+07	-1,6980E+07	7,4741E-03
5	- 1,9009E+07	-1,8240E+07	-1,6650E+07	8,3305E-03
6	- 1,9229E+07	-1,8324E+07	-1,6453E+07	9,2588E-03
7	- 2,0854E+07	-1,9814E+07	-1,7662E+07	3,1460E-03
8	- 2,2500E+07	-2,1324E+07	-1,8892E+07	1,6354E-03

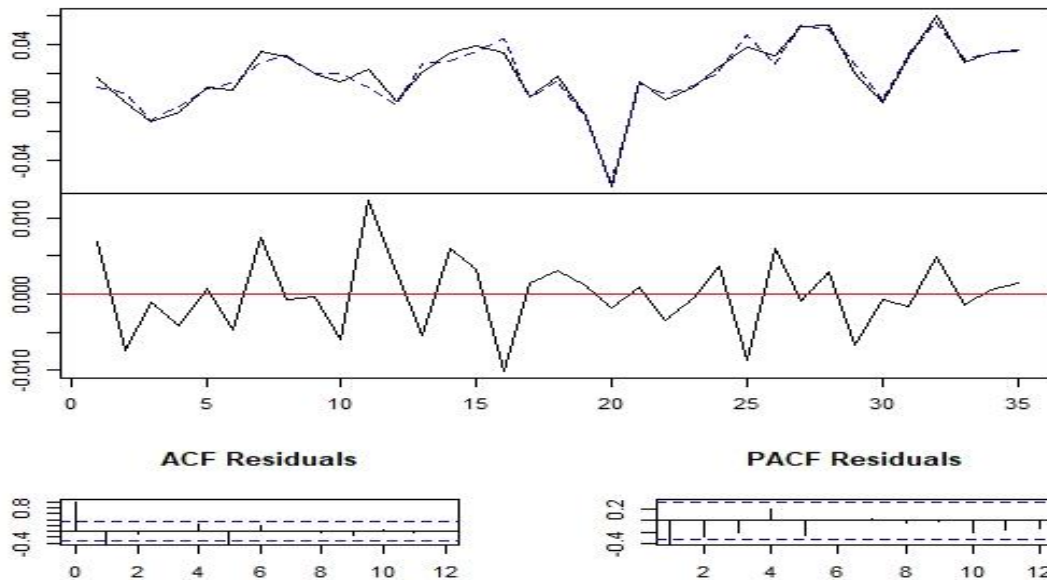
Obtenida la cantidad de rezagos óptimos, se pasa a realizar el modelo VAR, para esto se grafican las variables estudiadas con el objetivo de verificar si el comportamiento de las últimas variables se ajusta a las primeras, de igual forma, para poder establecer si el modelo satisface los supuestos se visualiza cómo se comportan los correlogramas de los residuos y las pruebas de correlación de Portmanteau, de normalidad, de homocedasticidad, de estabilidad y la de Johansen.

Tabla 6. Prueba de correlación Portmanteau

Prueba Portmanteau	
Chi-squared	P- Valor
119.39	0.0003808

En concordancia con la prueba de autocorrelación, se rechaza la hipótesis nula (H₀) de que los residuos no están correlacionados y por ende se acepta la hipótesis alternativa de la existencia de correlación serial entre los residuales.

Gráfico 8. Gráfica ajustada y correlogramas de los residuos del PIB per cápita



Seguido, se realiza el test de Jarque-Bera y se evidencia que este y la curtosis presentan distribución normal de los residuos con un nivel de significancia del 5%. La prueba se lleva a cabo para establecer que el modelo cumpla con el supuesto de normalidad.

Tabla 7. *Pruebas de normalidad*

Pruebas de normalidad		
Test	Chi-squared	P- Valor
Jarque-Bera Test	10.384	0.1094
Skewness only	4,5206	0.2105
Kurtosis only	5,8634	0.1184

Posteriormente, se aplica la prueba ARCH para determinar si los residuos son homocedasticos. Esta prueba establece un p-valor de 0,612. Para finalizar, se procede a verificar las series utilizadas en la estimación del modelo se encuentran conintegradas, para esto se aplica el test de Johansen en el cual (Ho) es $r = 0$, que indica que no están cointegrados los vectores y la hipótesis alternativa es $r = 1$, $r = 2$ o $r = 3$, es decir hay uno, dos o tres vectores cointegrados. De esta manera hay evidencia que al menos dos vectores se encuentran cointegrados a un nivel de significancia del 10%.

Tabla 8. *Pruebas de heterocedasticidad*

Pruebas de Heteroscedasticidad		
Test	Chi-squared	P- Valor
ARCH TEST	174	0.612

4.3 Prueba de causalidad de Granger

Llegados a este punto y con el objetivo de establecer si las variables estudiadas se causan entre sí, y si esto ocurre, en qué dirección se da; se procede a elaborar la prueba de causalidad de Granger determinando que en el largo plazo el PIB no causa las emisiones de CO₂ con un p-valor de 0,2431 por el contrario, el consumo de energía sí muestra una relación de causalidad en las emisiones de

dióxido de carbono con un p-valor de 0,96 a un nivel de significancia del 5%. De igual forma se determina una relación positiva del consumo de energía hacia el PIB con un p-valor de 0,7991.

Tabla 9. *Prueba de causalidad de Granger*

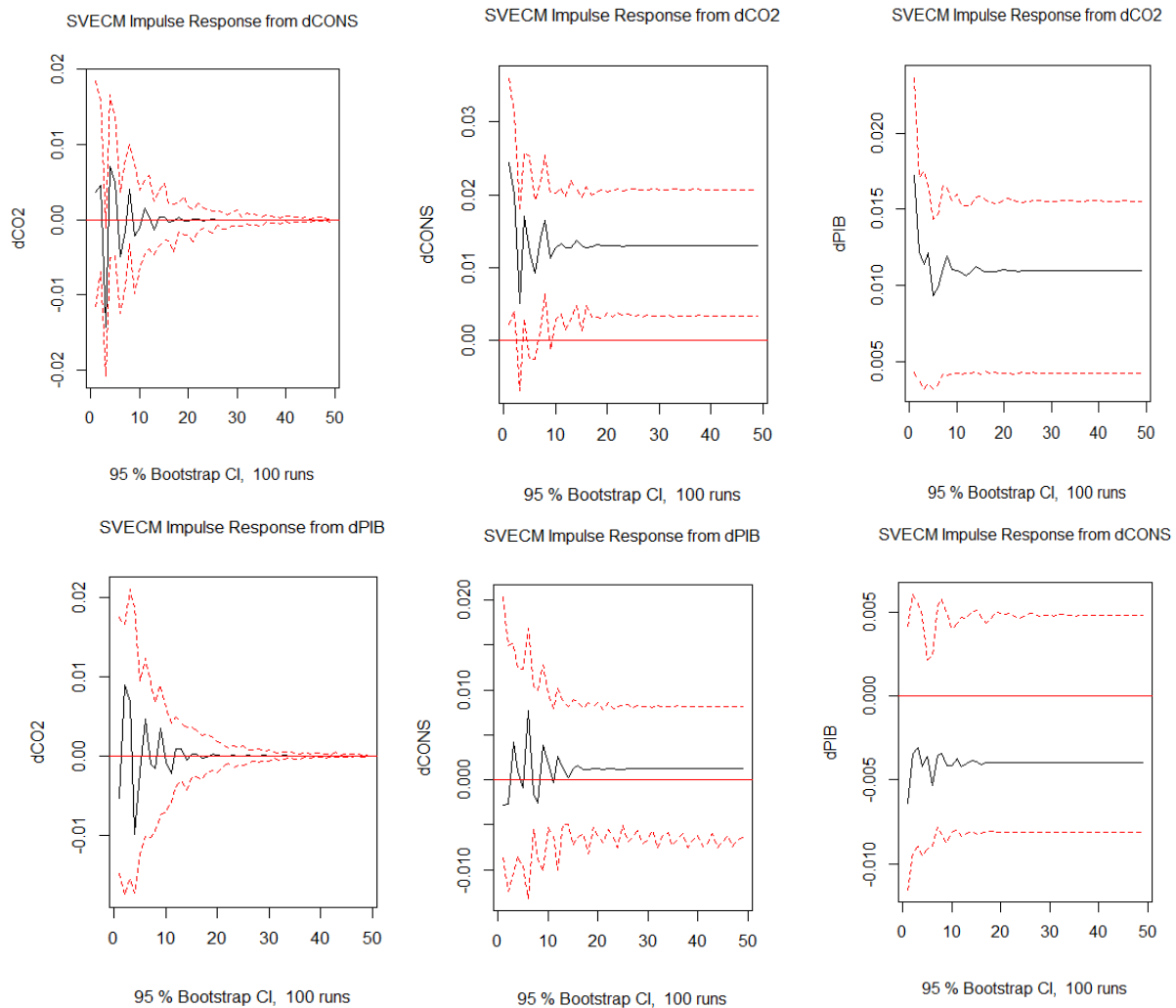
H₀	Estadístico F	Probabilidad
PIB no causa en el sentido de Granger CO₂	1,405	0,2431
CE no causa en el sentido de Granger CO₂	0,0024	0,9612
CO₂ no causa en el sentido de Granger CE	3,4334	0,0714
PIB no causa en el sentido de Granger CE	1,5393	0,2221
CO₂ no causa en el sentido de Granger PIB	2e-04	0,988
CE no causa en el sentido de Granger PIB	0,0657	0,7991

Un análisis más detallado de las relaciones de cointegración sugiere que en concordancia con (Lee y Lee, 2010) el consumo de energía es relativamente poco elástico. Esto subraya la expectativa teórica de que el uso de energía es principalmente una necesidad. Los resultados de la causalidad establecen que a largo plazo el comportamiento de esta variable se reajusta después de un choque hacia una relación de equilibrio. Un aumento del consumo de energía conduce a un aumento del crecimiento económico y viceversa. Por lo tanto, parece que Colombia exhibe un tipo de dependencia energética en el sentido de que un suministro de energía adecuadamente grande parece asegurar un mayor crecimiento económico.

4.4 Función impulso-respuesta

La evaluación de impulso-respuesta muestra las respuestas del PIB, consumo de energía y las emisiones de carbono a un choque de desviación estándar. Los gráficos obtenidos muestran el impacto inicial del choque de una desviación estándar de una variable sobre la otra en cuestión, así como también evaluar la persistencia del efecto en el tiempo de estudio.

Gráfico 9. Funciones impulso respuesta



Nota: la variable dCONS corresponde al consumo de energía eléctrica.

Como se observa en el gráfico 5, un choque desde el consumo de energía hacia el PIB causa efectos hasta el periodo 17, sin embargo, luego, el efecto tiene un comportamiento casi nulo. De lo anterior, se puede inferir que el crecimiento de la economía responde positivamente ante

cambios en la demanda del consumo de energía. Este comportamiento evidencia la importancia de incluir nuevas fuentes de energía eléctrica en la matriz energética colombiana de manera que se garantice la competitividad de los sectores económicos que contribuyen al crecimiento del PIB. De igual forma, las emisiones de dióxido de carbono responden de forma positiva ante variaciones en el consumo energético, por lo cual se podría deducir que estrategias de eficiencia energética y uso regulado de la energía podría contribuir a la disminución de contaminantes y por ende al cuidado de la calidad ambiental.

Los choques tanto del consumo de energía como de las emisiones de carbono inicialmente son positivamente significativos, pero se vuelven insignificantes a lo largo del tiempo. Aunque los afectos parecen ser transitorios, las respuestas de impulso del crecimiento económico (PIB), la energía y las emisiones de dióxido de carbono proporcionan evidencia de un nexo interactivo en el corto plazo.

Ahora bien, de acuerdo con el impulso –respuesta del PIB hacia las emisiones de CO₂ (Ver gráfico 9.) se evidencia un comportamiento congruente con la hipótesis de una curva de Kuznet ambiental. El resultado se atribuye a la posible relación entre el crecimiento económico y la calidad del ambiente dado que en el corto plazo cambios positivos en la tendencia del crecimiento del PIB per cápita causan un impacto en la calidad del aire. Por el contrario, en el largo plazo el efecto sobre las emisiones disminuye significativamente llegando a ser casi nulo, de acuerdo con la teoría la reducción del impacto podría relacionarse entre otros aspectos con la implementación de herramientas de protección ambiental y un mejor uso de la energía a medida que la economía mejora los niveles de ingreso.

Lo anterior permite inferir que el aumento del PIB está siendo equivalente a una mayor cantidad de emisiones de carbono en el corto plazo y por ende a una mayor contaminación del ambiente en

Colombia, dicho esto, las emisiones de dióxido de carbono se encuentran al parecer, en la etapa creciente de una curva de Kuznets ambiental.

5. Conclusiones y discusión

Desde el año 2000, países y organizaciones de todo el mundo se han centrado en concientizar y responsabilizar sobre los impactos negativos generados por los hábitos de consumo de energía de la población, los altos niveles de producción industrial, el crecimiento del PIB entre otros aspectos que deterioran de forma directa o indirecta el equilibrio del ambiente. Dicho de otra manera, se ha atribuido al tema de la calidad ambiental la importancia que desde su naturaleza merece y es la de ser considerada como medio imprescindible para el desarrollo del ser humano, tomando un papel determinante en las estrategias de crecimiento de grandes y pequeñas economías y siendo actualmente un foco de atención indiscutible.

La relación crecimiento, energía y medio ambiente plantea importantes desafíos a los encargados de plantear las políticas ambientales en Colombia y en todos los países del mundo teniendo en cuenta el objetivo del aumento en el crecimiento económico y la alta dependencia a fuentes de energía fósiles.

En este trabajo se presenta un análisis para el caso colombiano sobre esta relación utilizando la metodología de vectores autoregresivos VAR, prueba de causalidad de Granger y función impulso-respuesta con el cual se pretendió encontrar evidencia de una relación causal entre las variables del PIB, consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono en el periodo de 1971-2014, además de contribuir con el estudio empírico de la existencia de una curva de Kuznets ambiental en la economía colombiana.

Los resultados encontrados implican que hay una relación positiva entre el consumo de energía y el PIB, y del consumo de energía hacia las emisiones de dióxido de carbono, de igual modo el

resultado de la prueba de causalidad coincide con otros estudios en los cuales se determina que aumentos en el consumo de energía genera un efecto positivo sobre el crecimiento, es decir, el consumo de energía causa crecimiento económico. Tal es el caso de Saatçý y Dumrul (2013) y Squalli (2007) quienes realizan el estudio para Turquía y para los países de la OPEP respectivamente, argumentando una relación complementaria y dependiente entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

Estos hallazgos permiten establecer que en el largo plazo el crecimiento económico es un determinante del consumo de energía y este del cambio climático a través de las emisiones de CO₂ al menos para el caso de Colombia. Lo anterior sugiere que el consumo de energía y el crecimiento económico están interrelacionados y presentan una relación de dependencia, si esto es cierto, el diseño de medidas de uso eficiente de energía al igual que las políticas de conservación deben considerar el impacto del consumo de energía en el crecimiento económico y su retroalimentación, es decir, el efecto del crecimiento económico en el consumo de energía.

La principal conclusión sobre el resultado empírico de la causalidad de la energía al PIB per cápita podría ser que las políticas energéticas dedicadas a una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero-GEI deben enfatizar en el uso de fuentes alternativas o no convencionales de energía renovable en lugar de tratar exclusivamente de reducir el consumo de energía total para facilitar la compensación entre consumo de energía y crecimiento económico. Cabe resaltar que la relación causal entre estas dos variables no significa necesariamente que la regulación de energía afectará el crecimiento económico, de hecho, una reducción en el consumo de energía debida a mejoras en la eficiencia energética por mejoras tecnológicas o la implementación de nuevas fuentes energéticas puede aumentar productividad, que a su vez conduce a estimular el crecimiento económico. Por lo tanto, pasar de fuentes de energía menos eficientes y más contaminantes a unas

con mayor eficiencia además de reducir el impacto en el ambiente se traduciría en mayor competitividad; de esta manera las opciones de energías eficientes y renovables pueden establecer un estímulo en lugar de un obstáculo para el desarrollo económico.

Los resultados empíricos también sugieren que la teoría de una CKA para las emisiones de CO₂ es válida para Colombia. Esto indica que, si bien a corto plazo el crecimiento del PIB per cápita aumenta el nivel de emisiones de carbono, este ascenso se estabiliza y con el tiempo comienzan a descender el grado de emisiones contaminantes de CO₂ per cápita. Esta disminución traduce que en cuanto los países tienen mayor regulación, se vuelven más eficientes energéticamente y mejoran las condiciones de producción, mejoran los procesos productivos y de esta manera se vuelven menos contaminantes, por consiguiente, en el largo plazo el aumento del PIB per cápita no sería la razón principal de los niveles de contaminación.

Este hallazgo es consistente con Shahbaz et al., 2013, quienes, usando el enfoque del modelo de corrección de errores de vectores para el periodo de 1975- 2011, encontraron que el consumo de energía energética y el crecimiento económico aumentan las emisiones de CO₂ en Indonesia en el corto plazo. Del mismo modo, Saboori y Sulaiman, 2013, encontraron evidencia de una CKA en Malasia, también He y Richard (2010) encontraron resultados similares para Canadá utilizando el método de regresión parcial. Por otra parte, la literatura acerca de la validación de una CKA en Colombia es escasa y no se encuentran investigaciones en torno a esta investigación.

Por otro lado, la caracterización del sector energético colombiano resalta de forma considerable la mejoría de los indicadores de intensidad y eficiencia energética que obedece en gran parte a cambios en la matriz de abastecimiento de energía por cuenta de la implementación de proyectos de energías alternativas, comportamientos macroeconómicos positivos, y cambios en el enfoque de producción nacional ligado principalmente al aumento del tercer sector de la economía

(servicios), el cual destaca por tener un menor consumo de energía comparado con otras actividades económicas como la explotación petrolera, la industria, la construcción, el transporte y el sector agropecuario; y frente a los cuales aún queda una amplia senda que recorrer en aras de alcanzar un mejor uso de la energía en todo el territorio colombiano.

De esta manera, también se concluye que ante la situación climática actual el crecimiento económico colombiano debe estructurarse con miras a los pilares de sostenibilidad, acompañado de estrategias coherentes y efectivas de mitigación de los impactos sobre el ambiente, control de emisiones, y del cumplimiento de los acuerdos internacionales adquiridos así como de la política ambiental nacional mediante los decretos ya establecidos en torno a la evaluación de impactos ambientales y la regulación sobre licencias de explotación de los recursos naturales del territorio.

Quedan sobre la mesa de investigación varios aspectos por analizar a futuro, por ejemplo, cómo influye el comportamiento de los principales sectores de la economía colombiana en las relaciones de causalidad planteadas, así como la inclusión de otras sustancias contaminantes presentes en los gases de efecto invernadero.

Referencias bibliográficas

- Al-mulali, U., Lee, J., Mohammed, A., & Sheau-Ting, L. (2013). Examining the link between energy consumption, carbon dioxide emission, and economic growth in Latin America and the Caribbean. *Renewable and Sustainable Energy Review*, (26), pp. 42-48.
- Asociación de energías renovables (ACER). (2019). En qué estamos con las energías renovables. Recuperado de: <https://www.asorenovables.com/en-que-estamos-con-las-energias-renovables/>
- Arroyo, A. (2017). El gran impulso ambiental en el sector de la energía. Perspectivas para los países y la industria de los hidrocarburos de América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42492/1/S1700950_es.pdf
- Arouri, M., Youseff, A., M'henni, H., & Rault, C. (2012). Energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy* (45), pp. 342-349.
- Banco Mundial (BM). (2019). Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total) – Colombia. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?locations=CO>
- Barreto, C. & Campo, J. (2012). Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel. *Ecos de Economía*, 16(35), pp.73-89.
- Botero, J., López, H., Posada, C., Ballesteros, C., García, J. (2015). Economía colombiana: análisis de coyuntura. *Informe Universidad EAFIT (1)*. Recuperado de: http://www.eafit.edu.co/escuelas/economiaayfinanzas/cief/Documents/INFORME_2015-2.pdf
- Cárdenas, M. (2005). Crecimiento económico en Colombia: 1970-2005. Coyuntura Económica, Fedesarrollo. Recuperado de: https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/902/Co_Eco_Diciembre_2005_Cardenas.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Carta Internacional de la Energía. (2015). Conferencia Ministerial sobre La carta Internacional de la Energía (“La Haya II”) Recuperado de: https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Legal/IEC_ES.pdf
- Carro, R. (2013). Las externalidades ambientales y el Teorema de Coase: reflexiones a su aplicación. *Revista Iberoamericana de Derecho Ambiental y Recursos Naturales (10)*. Recuperado de: <https://ar.ijeditores.com/articulos.php?idarticulo=66506&print=1>
- Cass, D. (1965). Optimum growth in an aggregative Model of capital accumulation. *Review of Economic Studies*, 32, pp. 233-240.

- Castro, L. (2009). Crecimiento económico y medio ambiente. *Información comercial española*, (847), pp.93-110.
- Catalán, H. (2014). Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable. *Economía Informa* (389), pp. 19-37.
- Chen, P., Chen, S., Hsu, C., & Chen, C. (2016). Modeling the global relations among economic growth, energy consumption and CO₂ emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (65), pp.420-431.
- Cheng, B. & Lai, T. (1997). An investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. *Energy Economics*, 19(4), pp. 435-444.
- Coase, R. (1960). The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, 3(1), pp. 1-44.
- Correa, F., Vasco, A., & Pérez, C. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: evidencia empírica para Colombia. *Semestre Económico*, 8(15), pp.13-30.
- Correa, F. (2005). Crecimiento económico y medio ambiente: una revisión analítica de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets. *Semestre Económico*, 7(14), pp. 74-104.
- Correa, F. (2015). Economía del desarrollo sostenible: propuestas y limitaciones de la teoría neoclásica. *Semestre Económico*, 6(12), pp. 1-21.
- Corzo, D. (2013). Análisis del sector de energía eléctrica colombiano y regional. Negociación de energía eléctrica cemex colombia s.a. (Trabajo de grado). Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Recuperado de: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4526/1022351767-2013.pdf?sequence=4>
- Dasgupta, P.S., Heal, G.M (1980). Economic theory and exhaustible resources. Cambridge University Press: Reino Unido.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H. & Wheeler, D. (2002). Confronting the environmental Kuznets curve. *Journal of Economic Perspectives*, (16), pp.147-168.
- Decreto número 948 de 1995. (1995). Ministerio del Medio Ambiente. Diario Oficial No. 41.876. República de Colombia. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf
- Decreto número 1200 de 2004. (2004). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. República de Colombia. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/536020/Decreto+1200+de+2004.pdf/6c173c1d-7bc3-49bc-a6cf-04539795b482>
- Decreto número 2041 de 2014. (2014). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. República de Colombia. Recuperado de: http://quimicos.minambiente.gov.co/images/Respel/d_2041_2014_licencias.pdf

- Decreto número 1076 de 2015. (2015). Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/536020/Decreto-Unico-1076-2015.pdf/c9fb3902-6a34-45dd-87c9-1c3677e3fb0a>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) - Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2014). Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia – Síntesis. Bogotá, Colombia. Recuperado de: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Impactos%20Econ%C3%B3micos%20del%20Cambio%20Climatico_Sintesis_Resumen%20Ejecutivo.pdf
- Enders, W. (2010), *Applied Econometric Time Series*, 3a. Ed. John Wiley & Sons, Hoboken, Estados Unidos.
- García, F. (2016). ¿Cómo está Colombia en materia de energía? Análisis económico BBVA. Recuperado de: <https://www.bbva.com/es/como-esta-colombia-en-materia-de-energia/>
- Ghali, K., El-Sakka, M. (2004), Energy use and output growth in Canada: A multivariate cointegration analysis. *Energy Economics*, 26(2), pp.225-238.
- Gómez, C. (2011). Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana. *Revista Fuente* 3(9); pp. 67-80.
- Gómez, L.J. (1977). La entropía y sus relaciones con la economía y la ecología. *Revistas Unal*. 15(9), pp. 9-27.
- Gómez P., J. (2003). Economía ambiental, una retrospectiva teórica. *Apuntes Contables*, (5), pp. 43-57.
- Gujarati, D. & Porter, D. (2004). *Econometría*. The McGraw-Hill Companies: Mexico.
- Grossman, G. & Krueger, A. (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. *NBER Working Paper* No. (3914) Estados Unidos.
- Georgescu, N. (1980). Selecciones de “mitos de la economía y de la energía”. En Daly, H. (Comp). *Ecología, Economía y Ética*. Edición Fondo de Cultura Económica. México.
- He, J., Richard, P. (2010). Environmental Kuznets curve for CO₂ in Canada. *Ecol* 69(5), pp. 1083–1093.
- Henríquez, J. (2016). Impuesto Pigouviano. Centro de Estudios Tributarios de la Universidad de Chile. *Revista de Estudios Tributarios* (16). Recuperado a partir de: <https://revistaestudiotributarios.uchile.cl/index.php/RET/article/view/46986>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Departamento Nacional de Planeación (DNP), Cancillería. (2017). Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC).

- Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023731/TCNCC_COLOMBIA_C MNUCC_2017_2.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP), Cancillería. (2016). Inventario Nacional Departamental de Gases Efecto Invernadero –Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>
- Iglesias, J., Golpe, A., Carmona, M., & Martín, J. (2013). La curva de kuznets y la emisión de Co2 en España. 1850-2008. pp.135-144. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/271208771_La_curva_de_Kuznets_y_la_emision_de_CO2_en_Espana_1850-2008
- Koopmans, T. (1965). On the concept of optimal economic growth. *Cowles Foundation Discussion Papers* No. 163.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *American Economic Review*, 45(1), pp. 1-28.
- Kraft, J. & Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, 3(2), pp. 401-403
- Larraín, F., & Sachs, J. (2002). *Macroeconomía en la economía global*. Pearson Education S.A. : Argentina.
- Lee, C. & Lee, J. (2010). A panel data analysis of the demand for total energy and electricity in OECD countries. *Energy Journal* (31), pp. 1–23.
- Lean, H., & Smyth, R. (2010). CO2 emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Malaysia Applied Energy* (87), pp. 1858–1864.
- Li, F., Dong, S., Li, X., Liang, Q. & Yang, W. (2011). Energy consumption-economic growth relationship and carbon dioxide emissions in China. *Energy Policy* (39), pp. 568-574.
- Mahadevan, R., & Asafu, J. (2007), Energy Consumption, Economic Growth and Prices: A Reassessment Using Panel VECM for Developed and Developing Countries. *Energy Policy*, 35(4), pp.2481-2490.
- Marrugo, V. (2013). Economic growth and human development in Colombia (2000-2010). *Revista económica del Caribe* (11).
- Masoud, A., Nassor, S. & Baka, O. (2015). The relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Tanzania. *International Journal of Energy Sector Management*, 9(3), pp.361-375.

- Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J; Behrens, W., (1972). The limits to growth. A report for the club of Rome's proyect on the predicament of mankind. Recuperado a partir de: <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>
- Mehrara, M. (2007), Energy-GDP relationship for oil-exporting countries: Iran, Kuwait and Saudi Arabia. *OPEC Review* (31), pp.1-16.
- Ministerio de Ambiente. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/cambio-climatico>
- Narayan, P. & Prasad, A. (2008). Electricity consumption-real GDP causality nexus: evidence from a bootstrapped causality test for 30 OECD countries. *Energy Policy* (36), pp. 910–918.
- Ocampo, J., & Olivares, W. (2013). Relación entre las emisiones de CO₂, el consumo de energía y el PIB: el caso de los CIVETS. *Semestre Económico*, 16(33), pp.45-66.
- Osorio, A. (2002). La economía de los recursos naturales: un asunto de límites y necesidades para la humanidad. *Ecos de Economía*: 6(15), pp.45-62.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1972). Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. Recuperado de: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0579218.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Nuestro futuro Común. Recuperado de: http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LLECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
- Parra, D. (2017). La curva ambiental de Kuznets: ¿es compatible el crecimiento económico con el cuidado del medio ambiente? *Revista web Económica Supuestos*. Recuperado de: <http://revistasupuestos.com/desarrollo/2017/10/12/la-curva-ambiental-de-kuznets-es-compatible-el-crecimiento-econmico-con-el-cuidado-del-medio-ambiente>
- Paul, S., & Bhattacharya, R. (2004). Causality between energy consumption and economic growth in India: A note on conflict results. *Energy Economics* (26), pp.977-983.
- Pigou, A. (1920). The economics of welfare. Macmillan & Co: Inglaterra.
- Ramsey, F. (1928). A Mathematical Theory of Saving. *The Economic Journal*, 38(152), pp. 543-559
- Saatcý, M. & Dumrul, Y. (2013). The relationship between energy consumption and economic growth: evidence from a structural break analysis for Turkey. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3(1), pp.20-29.

- Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). Environmental degradation, economic growth and energy consumption: evidence of the environmental Kuznets curve in Malaysia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 60, pp.892-905
- Salahuddin, M. & Gow, J. (2014). Economic growth, energy consumption and CO₂ emissions in Gulf Cooperation Council countries. *Energy*, 73(14), pp. 44-58.
- Shahbaz, M., Hye, Q., Tiwari, A., Leitão, N. (2013). Economic growth, energy consumption, financial development: international trade and CO₂ emissions in Indonesia. *Renew. Sustain. Energy* (25), pp. 109–121.
- Sims, C. (1980), “Macroeconomics and reality”. *Econometrica* (48)1. pp. 1-48
- Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Ministerio de ambiente. Recuperado de: <http://www.siac.gov.co/climaticogei>
- Smulders, S. (2000). Economic Growth and Environmental Quality. En: Folmer, H. y Gabel, L., (Editores). Principles of environmental economics (Edward Elgar Publishers: Reino Unido).
- Solow, R. (1991). Sostenibilidad: la perspectiva de un economista. Mimeo. Massachussets.
- Soytas, U., Sari, R., & Ozdemir, O. (2001). Energy consumption and GDP relation in Turkey: a cointegration and vector error correction analysis. *Economies and Business in Transition: Facilitating Competitiveness and Change in The Global Environment Proceedings*, pp.838-844.
- Soytas, U., Sari, R. (2007). Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*, 68(6), pp- 1667-1675.
- Squalli, J. (2007). Electricity consumption and economic growth: bounds and causality analyses of OPEC members. *Energy Economics*, (29); pp. 1192-1205.
- Stern, D., & Cleveland, C. (2004). Energy and Economic Growth. Working Papers in Economics, Department of Economics, Rensselaer Polytechnic Institute, *Working Paper, No. 0410*. Recuperado de: <https://econpapers.repec.org/paper/rpirpiwpe/0410.htm>
- Toda, H.Y., Yamamoto, T., (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated process. *Journal of Econometrics* (66), pp. 225–250.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), World wildlife found (WWF). (1980). Estrategia mundial para la conservación. La conservación de los recursos vivos para el logro de un desarrollo sostenido. ISBN 2-88032-104-2. Recuperado de: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/WCS-004-Es.pdf>
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2015). Plan energético nacional Colombia: ideario energético 2050.

Vlahinic, N. & Zikovic, S. (2010). The Role of Energy in Economic Growth: The Case of Croatia. Zbornik radova Ekonomskog fakulteta u Rijeci/Proceedings of Rijeka. Faculty of Economics, *University of Rijeka, Faculty of Economics*, 28(1), pp. 35-60.

Zapiain, M. (2011). "Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la Humanidad". Recuperado de: <http://habitat.aq.upm.es/gi/mve/daee/tmzapiain.pdf?origin=publicat>

ANEXO SCRIPT MODELO

```
library(vars)
```

```
library (forecast)
```

```
library (astsa)
```

```
library (fBasics)
```

```
library (MASS)
```

```
library (TSA)
```

```
library (tseries)
```

```
library(urca)
```

```
library(moments)
```

```
library(lmtest)
```

```
data1<-read.table("C:/Users/SEBASTIAN HENRIQUEZ/Desktop/proyecto de  
grado/datos_log.txt",header=TRUE)
```

```
data1
```

```
summary(data1)
```

```
plot(data1)
```

```
sd(data1$CO2)
```

```
sd(data1$`Energia`)
```

```
sd(data1$PIB)
```

```
var(data1$CO2)
```

```
var(data1$`Energia`)
```

```
var(data1$PIB)
```

```
skewness(data1$CO2)
```

```
skewness(data1$`Energia`)
```

```
skewness(data1$PIB)
```

```
kurtosis(data1$CO2)
```

```
kurtosis(data1$`Energia`)
```

```
kurtosis(data1$PIB)
```

```
#LA BASE DE DATOS SE TRANSFORMA EN SERIE DE TIEMPO
```

```
y=ts(data1,start=1971,frequency=1)
```

```
y
```

```
summary(y)
```

```
##MATRIZ DE CORRELACION###
```

```
cor(y[,c("CO2", "Energia", "PIB")], use="complete")
```

```
### GRAFIACAMOS LAS VARIABLES ###
```

```
plot(y[,1],ylab="CO2",xlab="años",col="green")
```

```
par(mfrow=c(3,1))
```

```
plot(y[,2],ylab="Consumo de Energía",xlab="años",col="blue")
```

```
plot(y[,3],ylab="PIB",xlab="años",col="red")
```

```
plot(y, nc = 1, xlab = "")
```

```
#gRÁFICO SERIES TODAS EN UN MISMO PLANO ###
```

```
ts.plot(y[,1], y[,2], y[,3], col=c("blue", "red", "green", "pink"))
```

```
ts.plot(y[,2], y[,3], col=c("blue", "red", "green", "pink"))
```

```
ts.plot(y[,1], y[,3], col=c("green", "red", "green", "pink"))
```

```
ts.plot(y[,1], y[,2], col=c("green", "blue", "green", "pink"))
```

```
##prueba sin sonstante y sin tendencia ###
```

```
adf1 <- summary(ur.df(y[, "CO2"], lags = 1))
```

```
adf1
```

```
adf1 <- summary(ur.df(y[, "Energia"], lags = 1))
```

```
adf1
```

```
adf1 <- summary(ur.df(y[, "PIB"], lags = 1))
```

```
adf1
```

```
#la variable dependiente ES "PIB"
```

```
adf1 <- summary(ur.df(y[, "CO2"], type = "drift", lags = 2))
```

```
adf1
```

```
adf1.1 <- summary(ur.df(y[, "CO2"], type = "trend", lags = 2))
```

```
adf1.1
```

```
adf2 <- summary(ur.df(diff(y[, "CO2"]), type = "drift", lags = 1))
```

```
adf2
```

```
adf2.1 <- summary(ur.df(diff(y[, "CO2"]), type = "trend", lags = 1))
```

```
adf2.1
```

```
kpss.test(y[, "CO2"])
```

```
dCO2=diff(y[, "CO2"], differences=1)
```

```
dCO2
```

```
kpss.test(dCO2)
```

```
##Variable CONSUMO DE ENERGIA ####
```

```
adf1 <- summary(ur.df(y[, "Energia"], type = "drift", lags = 2))
```

```
adf1
```

```
adf1.1 <- summary(ur.df(y[, "Energia"], type = "trend", lags = 2))
```

```
adf1.1
```

```
adf2 <- summary(ur.df(diff(y[, "Energia"]), type = "drift", lags = 1))
```

```
adf2
```

```
adf2.1 <- summary(ur.df(diff(y[, "Energia"]), type = "trend", lags = 1))
```

```
adf2.1
```

```
kpss.test(y[, "Energia"])
```

```
dCONS=diff(y[, "Energia"], differences=1)
```

```
dCONS
```

```
kpss.test(dCONS)
```

```
#####Variable PIB #####
```

```
adf1 <- summary(ur.df(y[, "PIB"], type = "drift", lags = 2))
```

```
adf1
```

```
adf1.1 <- summary(ur.df(y[, "PIB"], type = "trend", lags = 2))
```

```
adf1.1
adf2 <- summary(ur.df(diff(y[, "PIB"]), type = "drift", lags = 1))
adf2
adf2.1 <- summary(ur.df(diff(y[, "PIB"]), type = "trend", lags = 1))
adf2.1
kpss.test(y[, "PIB"])
dPIB=diff(y[, "PIB"], differences=1)
dPIB
kpss.test(dPIB)
#prueba de granger
grangertest(dCO2~dPIB)
grangertest(dCO2~dCONS)
grangertest(dCONS~dCO2)
grangertest(dPIB~dCO2)
grangertest(dPIB~dCONS)
grangertest(dCONS~dPIB)

#gRÁFICO SERIES DIFERENCIADAS
png("variaciones")
ts.plot(dPIB, dCONS, dCO2, col=c("blue", "red", "green"))
legend("topleft", c("PIB", "Energia", "CO2"), cex=0.7,
      bty="n", fill=c("blue", "red", "green"))
x=data.frame(dPIB, dCONS, dCO2)
x
x=ts(x,start=1971,frequency=1)
x
VARselect(x, lag.max = 12, type = "both")
x <- x[, c("dPIB", "dCONS", "dCO2")]
```

```
### matriz de correlacion x ###  
cor(x[,c("dPIB", "dCONS", "dCO2")], use="complete")  
p1ct <- VAR(x, p =8 , type = "both") #El criterio "AIC" muestra que se debe utilizar 8 rezagos  
para la estimación del modelo VAR.  
p1ct  
summary(p1ct)  
summary(p1ct, equation = "dPIB")  
plot(p1ct, names = "dPIB")  
png("correlograma-dPIB")  
plot(p1ct, names = "dPIB")  
dev.off()  
  
png("correlograma-dCONS")  
summary(p1ct, equation = "dCONS")  
plot(p1ct, names = "dCONS")  
dev.off()  
  
png("correlograma-CO2")  
summary(p1ct, equation = "dCO2")  
plot(p1ct, names = "dCO2")  
dev.off()  
  
ser11 <- serial.test(p1ct, lags.pt = 16, type = "PT.asymptotic")  
ser11$serial  
  
norm1 <- normality.test(p1ct)  
norm1$jb.mul
```

```

arch1 <- arch.test(p1ct, lags.multi = 5)
arch1$arch.mul
png("cusum")
plot(arch1, names = "dPIB")
plot(stability(p1ct), nc = 2)
dev.off()
summary(ca.jo(x, type = "trace", ecdet = "trend", K = 4,
spec = "transitory"))
summary(ca.jo(x, type = "trace", ecdet = "trend", K = 2,
spec = "transitory"))
vecm <- ca.jo(x[, c("dCO2", "dCONS", "dPIB")], type = "trace",
ecdet = "trend", K = 3, spec = "transitory")
vecm
vecm.r1 <- cajorls(vecm, r = 1)
vecm.r1
#####
#####
#####
###Variable ficticia###
data1<-read.table("C:/Users/SEBASTIAN HENRIQUEZ/Desktop/proyecto de
grado/datos2.txt",header=TRUE)
data1
y=ts(data1,start=1971,frequency=1)
y
dNUEVA=diff(y[, "NUEVA"], differences=1)
dNUEVA
x=data.frame(dCO2, dCONS, dPIB, dNUEVA)
x
x=ts(x,start=1971,frequency=1)

```

```
x
x <- x[, c("dCO2", "dCONS", "dPIB", "dNUEVA")]
vecm <- ca.jo(x[, c("dCO2", "dCONS", "dPIB", "dNUEVA")], type = "trace",
ecdet = "trend", K = 3, spec = "transitory")
SR <- matrix(NA, nrow = 4, ncol = 4)
SR[4, 2] <- 0
LR <- matrix(NA, nrow = 4, ncol = 4)
LR[1, 2:4] <- 0
LR[2:4, 4] <- 0
svec <- SVEC(vecm, LR = LR, SR = SR, r = 1, lrtest = FALSE, boot = TRUE,
runs = 100)
summary(svec)
LR[3, 3] <- 0
svec.oi <- update(svec, LR = LR, lrtest = TRUE, boot = FALSE)
svec.oi$LRover
svec.irf <- irf(svec, response = "dPIB", n.ahead = 48, boot = TRUE)
png("impulso-respuestas")
plot(svec.irf)
dev.off()
```