
Análisis de la relación entre el consumo de energía y las emisiones de carbono en Ecuador

Dina Sarango⁴

Carrera de Economía. Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador

Fecha de recepción: febrero 2018. Fecha de aceptación: Mayo 2018

Resumen

El objetivo de esta investigación es examinar la relación de equilibrio de corto y largo plazo entre el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono en Ecuador durante el periodo 1971-2014. Con el fin de alcanzar dicho objetivo, estimamos modelos de vectores autorregresivos, de corrección de error y de causalidad. Los resultados son consistentes con el marco teórico de la Curva de Kuznets Ambiental. Encontramos la existencia de una relación de equilibrio de corto y largo plazo entre las dos variables. Asimismo, existe causalidad tipo Granger unidireccional entre las dos variables que va desde las emisiones de dióxido de carbono hacia el consumo de energía. Una implicación de política económica derivada de esta investigación es que para reducir las emisiones de dióxido de carbono las fuentes de energía deben ser sustentables. Esto llevaría a reducir las emisiones contaminantes sin limitar el crecimiento de la economía.

Palabras clave: Consumo de energía. Emisiones CO2. Series de tiempo. Ecuador.

Código JEL: L94. Q53. C22. F32.

Analysis of the relationship between energy consumption and carbon emissions in Ecuador

Abstract

The objective of this research is to examine the short- and long-term equilibrium relationship between energy consumption and carbon dioxide emissions in Ecuador during the period 1971-2014. In order to achieve this goal, we estimate models of autoregressive vectors, correction of error and causality. The results are consistent with the theoretical framework of the environmental Kuznets curve. We find the existence of a relationship of short- and long-term equilibrium between the two variables. Likewise, there is unidirectional Granger type causality between the two variables that goes from carbon dioxide emissions to energy consumption. One implication of economic policy derived from this research is that to reduce carbon dioxide emissions, energy sources must be sustainable. This would lead to reducing polluting emissions without limiting the growth of the economy.

Keywords: Energy consumption. CO2 emissions. Time series. Ecuador.

JEL Code: L94. Q53 C22 F32

⁴Autor de correspondencia. Dina Sarango. Carrera de Economía de la Universidad Nacional de Loja. Campus Universitario La Argelia. Correo electrónico: dina.sarango@unl.edu.ec

1. Introducción

En la actualidad, la elevada cantidad de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) es uno de los mayores problemas ambientales en el mundo, ya que está experimentando cambios climáticos en nuestro entorno debido al consumo de energía procedente de combustibles fósiles como el petróleo utilizados para la generación de energía para distintas actividades, por lo tanto, este contribuye al deterioro ambiental generando el calentamiento global y a su vez impactos negativos para la sociedad económica de un país. El consumo de energía total representa el 77 % y el consumo per cápita se ubicó 1143,31 en el año 2016, con respecto a las emisiones de CO₂ representa el 0,15 % y emite 1,9 toneladas métricas de CO₂ por habitante no obstante es evidente que la economía ecuatoriana sigue dependiendo de la energía fósil que representa entre 75 % a 80 % de las emisiones de carbono, según la Organización de Naciones Unidas (ONU), en el 2014 representaba 83 %. Por ejemplo, el 31 % de la energía consumida en el país fue en forma de diésel y el consumo de gasolinas representó el 28 % del total de la energía demandada. La transportación basada en el uso de gasolina y diésel (combustibles fósiles) fue el principal demandante al representar el 42 % del total. Para poder capturar este problema, se basa en la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (EKC). Esta hipótesis asume que en el corto plazo el desarrollo económico empeora el medio ambiente; pero en el largo plazo, a partir de un cierto nivel de ingresos, el crecimiento económico provoca menores niveles de contaminación. La EKC asume la forma de una U invertida (Park y Hong, 2013).

El objetivo de este trabajo es estudiar la relación de equilibrio a corto y largo plazo del consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono, usando econometría de datos de series de tiempo, se estima las elasticidades a corto y largo plazo de las emisiones de CO₂ y consumo de energía, con el propósito de verificar la relación existente entre estas variables según la hipótesis que plantea la EKC. Este trabajo de investigación responde a la pregunta: ¿Cuál es la relación que existe entre el equilibrio a corto y largo plazo del consumo de energía? La principal contribución de este trabajo es el análisis econométrico del vector autorregresivo (VAR) y vector de corrección de error (VEC) de la relación del consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono, empleando metodología de series de tiempo no estacionarios que nos permita evaluar políticas económicas para el contexto ecuatoriano.

Este trabajo incluye cuatro secciones adicionales a la introducción. La sección dos proporciona una síntesis la revisión de la literatura previa que sustenta la relación de las emisiones de CO₂ y consumo de energía. La sección 3 describe los datos y plantea el modelo econométrico. La sección cuatro discute los resultados encontrados con la evidencia empírica. Finalmente, la quinta sección, muestra las conclusiones del trabajo y las posibles implicaciones de política económica.

2. Revisión de la literatura previa

La relación entre el crecimiento económico, el consumo de energía y las emisiones de CO₂ se ha convertido en una cuestión dominante en la literatura económica reciente. Este tema ha sido examinado sobre todo en el marco de la EKC con el fin de verificar la existencia de una relación en forma de U invertida entre la contaminación ambiental. Los argumentos pueden ser diversos para la afirmación de la teoría de kuznets en el mundo. Existe una amplia literatura de estudios realizados sobre el tema, la cual se clasifica en Tres categorías de evidencia empírica.

Antes de explicar la evidencia empírica se mostrara que los impulsores de los cambios en las emisiones de CO₂ de la economía española según Cansino, Román y Ordóñez (2016), aluden que la implementación del Protocolo de Kyoto parecen tener un efecto positivo impacto en las emisiones de CO₂. Refiriéndonos a Mavromatidis, Orehounig, Richner y Carmeliet (2016), quienes realizan el análisis de descomposición que permite la cuantificación de la contribución de diferentes factores a los cambios en las emisiones, así como a la evaluación de la efectividad de las medidas de política y tecnología. La identidad de Kaya ha sido ampliamente utilizada para ello, a fin de desglosar las emisiones de carbono en varias fuerzas motrices.

En la primera categoría se considera los estudios de la relación dinámica de las variables de estudio de esta investigación es decir las emisiones de CO₂ y el consumo de energía. Mientras que la segunda categoría se centra en los estudios que analizan el nexo entre el consumo de energía y el crecimiento económico. La última categoría presenta la inclusión de otras variables como ingreso, desarrollo financiero comercio internacional, inversión extranjera directa (IED).

Finalmente investigando el impacto de las Emisiones sobre el consumo de energía se hablará también del consumo de energías renovables y no renovables. En la primera categoría Zhang, Bian, Tan y Song (2017) encontraron que las emisiones de CO₂ indican una tendencia al alza impulsado principalmente por el consumo per cápita del hogar y por la intensidad de la energía. Mirzaei y Bekri (2017) muestran que el consumo de energía seguirá teniendo una tendencia ascendente y por ende generando emisiones de CO₂ que aumentarían entre el 4,3% y 5% para el caso de Irán. Además también muestran la necesidad urgente de ahorro de energía por el consumo excesivo del mismo de igual manera alude Yuan et al (2014). Siguiendo en la misma línea Naranjo (2016) indica que en el sector residencial, comercial son más propensos a consumir energía con un total de 56% así mismo generando mayor contaminación. Mensah (2014) indica la relación entre el consumo de energía y las emisiones de CO₂, los resultados explican que el dióxido de carbono sufre cambios estructurales debido a la variación del consumo de energía.

En la segunda categoría, Mirza y Kanwal (2017) analizan el consumo de energía, las emisiones de carbono y el crecimiento económico para el caso de Pakistán, para lo cual aplicaron el enfoque de cointegración y ARDL los resultados mencionan que un mayor crecimiento económico podría ir en detrimento de medio ambiente más limpio y debilitaría la calidad del crecimiento económico, además un aumento en el consumo de energía también dará lugar a altas emisiones de CO₂ en la economía en el largo plazo, y viceversa, además hay presencia de cointegración a largo plazo entre las variables mencionan Wang, Li, Fang, y Zhou (2016). Los mismos resultados detalla Appiah (2018), en su trabajo realizado en Ghana. Por otro lado, Bastola y Sapkota (2015) demuestran el de equilibrio a largo plazo mediante dos técnicas ARDL y vectores autorregresivos (VAR), los resultados menciona que existe la presencia a largo plazo de causalidad bidireccional que va desde el consumo de energía al CO₂ y viceversa. Y una causalidad bidireccional que va desde el crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono. Ozcan (2013) utilizando datos de panel relaciona las tres variables, los resultados encontrados alude que no hay equilibrio a largo plazo.

En el caso de los países africanos utiliza límites de cointegración y causalidad de tipo Granger, en el largo plazo el consumo de energía y crecimiento económico y CO₂ se asocia con un aumento de la contaminación atmosférica, los resultados de causalidad muestran que en el crecimiento económico causa a las emisiones de CO₂ en el corto plazo según Ezzo y Keho (2016). En esta misma dirección, Robledo y Olivares (2013) implican que existe una relación de largo plazo entre las emisiones de CO₂, consumo de energía y PIB, además indican que existe una relación de causalidad del PIB a las emisiones de CO₂, y del consumo de energía a las emisiones de CO₂, lo cual implica que en el largo plazo el crecimiento económico es un determinante del cambio climático a través de las emisiones de CO₂. Con respecto a Alkhatlan y Javid (2013) utilizaron el enfoque Autorregresivo de rezago distribuida (ARDL), los resultados obtenidos menciona a largo plazo las emisiones de carbono se incrementan con el aumento del ingreso per cápita, por otro lado a corto plazo el ingreso per cápita reduciría las emisiones de CO₂. Al-Mulali (2014) utilizó datos de panel para su diagnóstico, los resultados indican que el consumo de energía no tiene efecto a largo plazo sobre las emisiones, en cuanto a la causalidad de Granger, revela que el consumo de energía tiene una relación causal con el crecimiento, y relación causal a corto plazo negativa con la emisión de CO₂. En los estudios de Saboori y Sulaiman (2013) relacionan las tres variables previas para la determinación de la EKC y la prueba de causalidad de Granger, los resultados muestran que soporta una relación en forma de U invertida cuando se utiliza, datos desagregados como petróleo, gas etc. Y muestran, una causalidad a largo plazo, una dirección bidireccional entre las variables analizadas. Por otro lado Narayan y Popp (2012) analizan la relación a largo entre el consumo de energía y el PIB, los resultados muestran que el consumo de energía tiene un efecto causal negativo a largo plazo con el PIB. Por su parte Bah y Azam (2017) exploran la relación causal entre el consumo de

energía, crecimiento económico, y CO₂, mediante la prueba de ADRL que valida la existencia de cointegración en las tres variables, con respecto a la prueba de causalidad existe una causalidad unidireccional que va del CO₂ al consumo.

Finalmente, la última categoría anexando otras variables, Tang y Tan (2015) estudian el impacto del consumo de energía, inversión extranjera directa y las emisiones de CO₂ utilizando técnicas de Johansen y causalidad de Granger, los resultados indican la existencia de equilibrio a largo plazo entre las variables de interés, y que el consumo de energía causa a las emisiones a corto y largo plazo. En la misma línea Salahuddin, Alam, Ozturk y Sohag (2017) indican que el crecimiento económico, consumo de energía y la IED estimulan las emisiones de dióxido de carbono tanto corto como largo plazo, con respecto a la causalidad de Granger reveló que la IED, crecimiento económico y consumo de energía causa a las emisiones. Además, Alam, Murad, Noman y Ozturk (2016) realizaron la relación de las variables ya descritas de varios países los resultados muestran que las emisiones de CO₂ de ciertos países han aumentado con el incremento de los ingresos y el consumo de energía.

Por otra parte, Boutabba (2014) muestra que el desarrollo financiero tiene un impacto positivo a largo plazo sobre las emisiones de CO₂, es decir que esta variable disminuye la degradación del medio ambiente. Autores como Farhani, Chaibi y Rault (2014) aluden a la existencia de la relación a largo plazo, y que las variables analizadas incluido el comercio causan las emisiones de CO₂. Del mismo modo manifiesta Allali, Tamali y Rahli (2015) que hay una relación positiva en el largo plazo entre las emisiones consumo de energía, además demuestra la causalidad bidireccional entre el consumo de energía y las emisiones de CO₂. Para concluir con este escenario Tajudeen (2015) examina el papel de la energía carenciales y factores no económicos, donde muestran que la demanda de energía seguirá creciendo así sea que afecta a las emisiones de CO₂. Según Kasman y Duman (2015) mencionan que hay una causalidad unidireccional de panel entre el consumo de energía y emisiones.

Adicional a ello existe impacto de emisiones de la energía no renovable y renovables según Bilgili, Koçak y Bulut (2016), también existe una causalidad negativa de fuentes renovables a las emisiones dentro de modelo EKC. Según autores Shafei y Salim (2014) quienes utilizaron el modelo de STIRPAT, e indican que el consumo de energía no renovable aumenta las emisiones de CO₂, mientras que el consumo de energía renovable disminuye el CO₂. De igual manera Ito (2017) utiliza datos de panel, y mencionan que la energía no renovable tiene un impacto negativo con las variables ya mencionadas, y que el consumo de energía renovable si contribuye positivamente al crecimiento económico en el largo plazo, entonces se dice que aun cierto nivel de desarrollo es decir en un corto plazo generara mayor CO₂. Finalmente Zare, Ghajarkhosravi y Fung (2015) en su investigación utilizaron un método de PRISM, los resultados indican que las emisiones de CO₂ son provenientes del consumo de energía. En la indagación la mayoría de las investigaciones realizadas muestran el equilibrio de corto y largo plazo y el apoyo de la hipótesis en los diferentes países o regiones.

Diversos países usan mucha energía durante su desarrollo económico, basándose en un trabajo sobre dióxido de carbono y energía una evidencia desde un modo no lineal, argumentan que ante una disminución del uso de energía, la mejora de la eficiencia energética podría aliviar de manera efectiva las emisiones de CO₂ (Chiu, 2017). Por otro lado Ajmi, Hammoudeh, Nguyen y Sato (2013) aluden que el entorno que rige las relaciones entre el consumo de energía, las emisiones de CO₂ y el PIB cambia con el tiempo, debido a las variaciones en el crecimiento económico además también existen una causalidad bidireccional con respecto a la variación. Un estudio realizado en Corea del Sur utilizó el análisis de regresión para relacionar el consumo de energía, emisiones de CO₂ y crecimiento económico, los resultados muestran que el crecimiento y el consumo de energía presenta una correlación significativa es decir emiten dióxido de carbono (Park y Hong, 2013). Haciendo referencia al estudio de Al-Mulali y Sheau-Ting (2014), sobre el análisis econométrico del comercio, consumo de energía y las emisiones, utilizando datos de panel muestra una relación positiva a largo plazo entre las variables de comercio-consumo de energía y entre la variable de intercambio de emisiones de CO₂. Finalmente Jaforullah y King (2017) indican que el consumo de energía es una consecuencia estable ante las emisiones de CO₂ ante un consumo mínimo o en exceso.

En base a la evidencia empírica presentada y tomando en cuenta que en Ecuador en el 2016 el total de consumo de energía per cápita se ubicó en 1143,31 pero a pesar de ello su utilización es importante para realizar actividades productivas por ende genera problemas de emisiones de CO₂ al medio ambiente. Nuestro enfoque es analizar la relación del equilibrio a corto y largo plazo y determinar la dirección de causalidad entre las variables durante el periodo 1971-2014.

3. Datos y metodología

3.1. Datos

La base de datos utilizada en la siguiente investigación es obtenida a partir del Banco Mundial 2016. Las variables son series temporales anuales del período 1971-2014. La variable consumo de energía es denotada como ConsuE y la variable emisiones de dióxido de carbono como EmiCO₂. La Tabla 1 resume las variables del modelo econométrico.

Tabla 1. *Definición de las variables.*

Variable	Unidad de medida
Variable dependiente	
· EmiCO ₂	Toneladas métricas per cápita
Variable independiente	
· ConsuE	Kilovatio por hora per cápita

Con el fin de poder verificar el equilibrio a corto y largo plazo, esta área presenta el origen de los datos y la estrategia econométrica utilizada. Inicialmente, dividimos la estrategia econométrica en varias secciones. Primero, mediante la prueba de la raíz unitaria de Dickey y Fuller Aumentada (1979). Todas las series son no estacionarias, por lo que fue preciso la obtención de las primeras diferencias. Segundo, aplicamos el test de cointegración de Johansen (1988), con el cual comprobamos la presencia de vectores de cointegración. Tercero, mediante los VEC comprobamos la existencia de equilibrio a largo plazo. Finalmente, el modelo de causalidad de Granger (1988) verificamos la existencia de causalidad unidireccional entre las variables. Como punto de partida y previo al análisis econométrico, realizamos un análisis descriptivo de las variables. La Figura 1 muestra el comportamiento de las variables emisiones de CO₂ y consumo de energía. Las variables tienen un comportamiento tendencial característico de las series de tiempo. Esto hace necesario la realización del test de Dickey y Fuller, lo cual efectivamente confirma que las variables son estacionarias.

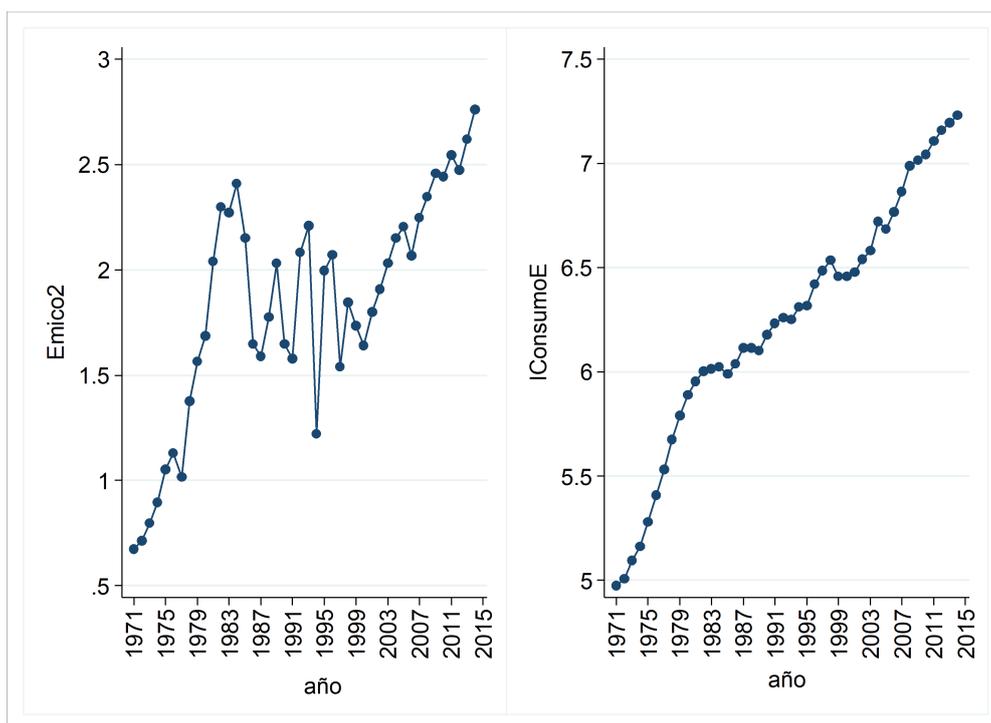


Figura 1. Evolución de las variables del modelo econométrico en Ecuador (1971-2014)

Con el fin de evitar el efecto espúreo característico de las series de tiempo en niveles se aplica la primera diferencia de las variables y se realiza la prueba de Dickey -Fuller, y todas se vuelven series no estacionarios este proceso elimina el posible efecto tendencial entre el consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono.

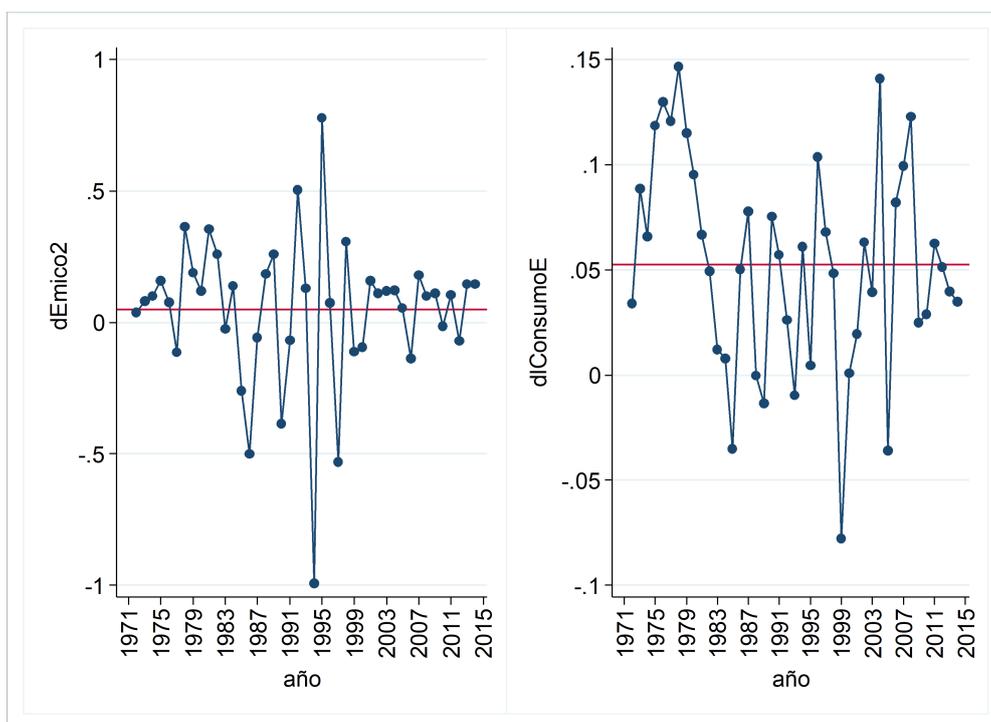


Figura 2. Comportamiento de las variables del modelo econométrico en primeras diferencias

3.2. Metodología

Con el propósito de examinar empíricamente la relación de corto y largo plazo entre las tres variables de interés y hacer efecto el objetivo planteado, partimos de la hipótesis de la curva ambiental de kuznets, donde asume que en el corto plazo el desarrollo económico empeora el medio ambiente; pero en el largo plazo a partir de ciertos niveles de ingreso el crecimiento económico provoca menores niveles de contaminación. Para verificar económicamente dicha hipótesis se plantea una nueva ajustándola al contexto ecuatoriano e incluyendo las variables antes mencionadas, para el caso de Ecuador es necesaria la inclusión de una variable Dummy que capture el cambio estructural que experimentó el país en 1999 durante la crisis económica y financiera. La variable Dummy toma el valor 0 antes del 2000 y el valor 1 a partir del 2000. Dicho de otra manera, Dummy, refleja el cambio estructural que experimentó la economía durante la dolarización; Con esto, el modelo a estimar con datos de series de tiempo de dicha relación se plantea la siguiente Ecuación:

center

$$EmiCO2_t = \beta_0 + \beta_1 \log ConsuE_t + \beta_2 Dummy + \varepsilon_t \quad (1)$$

La Ecuación (1) muestran las variables donde (EmiCO2) es el dióxido de carbono medidas en toneladas métricas per cápita y (ConsuE) consumo de energía medido kilovatio hora per cápita, y un variable Dummy que es una dicótoma la cual indica el paso del sucre al dólar y finalmente (E) es el termino de error. Para examinar la relación a largo plazo entre las variables establecidas planteamos un modelo de vectores autos regresivos (VAR). El modelo VAR a estimar para dicha relación es el siguiente:

$$\Delta EmCO2_t = \alpha_0 + \alpha_1 \sum_{i=1}^n \Delta (EmCO2_{t-j}) + \alpha_2 \sum_{i=1}^n \Delta \log(ConE_{t-j}) + \alpha_3 \sum_{i=1}^n \Delta (Dummy_{t-j}) + \varepsilon_{t1} \quad (2)$$

$$\Delta \log ConsuE_t = \alpha_4 + \alpha_5 \sum_{i=1}^n \Delta \log(ConE_{t-j}) + \alpha_6 \sum_{i=1}^n \Delta (EmCO2_{t-j}) + \alpha_7 \sum_{i=1}^n \Delta (Dummy_{t-j}) + \varepsilon_{t2}$$

Podemos describir que Δ es el operador de primeras diferencias. La longitud del rezago se define con el criterio de información de Akaike (1974). En la tercera etapa, una vez que la existencia de cointegración es confirmada entre el logaritmo de las primeras diferencias de las emisiones de dióxido de carbono, y consumo de energía, se obtiene el término de error de equilibrio ε_{t1} , con este vector se puede utilizar para estimar un modelo de corrección de error (VEC) para determinar la existencia de equilibrio de corto plazo entre las variables analizadas y la dummy del cambio estructural económico del Ecuador. El error de equilibrio incorporado en el test de corrección de error TCE indica el mecanismo de corrección que devuelve a las variables de equilibrio en el corto plazo menciona Alvarado y Toledo (2017). El modelo VEC planteado esta expresado de la siguiente manera.

$$\Delta EmCO2_t = \alpha_0 + \alpha_1 \sum_{i=1}^n \Delta (EmCO2_{t-j}) + \alpha_2 \sum_{i=1}^n \Delta \log(ConT_{t-j}) + \alpha_3 \sum_{i=1}^n \Delta Dummy_{t-j} + \alpha_4 TCE + v_{t1} \quad (3)$$

$$\Delta \log ConT_t = \alpha_5 + \alpha_6 \sum_{i=1}^n \Delta \log(ConE_{t-j}) + \alpha_7 \sum_{i=1}^n \Delta (EmCO2_{t-j}) + \alpha_8 \sum_{i=1}^n \Delta Dummy_{t-j} + \alpha_9 TCE + v_{t2}$$

Tabla 2. Resumen de los estudios sobre el consumo de la energía y emisiones de CO₂.

Autor y año	Período	Países	Metodología	Variables	Resultados
Michael Owusu Appiah (2017)	1960-2015	Ghana	causalidad Toda-Yamamoto y Granger. El enfoque de cointegración de Johansen	C, CO ₂ , CE	C→CO ₂
Bastola y Sapkota (2015)	1980-2011	Países africanos	Cointregacion johansen y ARDL	C, CO ₂ , CE	C↔CO ₂ , CE→C, CO ₂
Esso y Keho (2016)	1971-2010	Civest	Cointregacion Johansen y pruebas de causalidad	C, CE, CO ₂	CE→CO ₂
Robled y Olivares (2013)	1980-2010	Malasia	ARDL, Johansen	CO ₂ , CE, C	CE→C, CO ₂
Mirza y Kanwal (2017)	1971-2010	Pakistán	Metodología ARDL, Cointegración de Johansen	C, CE, CO ₂	CE→C, CO ₂
Burco y Oscan (2013)	1990-2008	12 países de oriente	Causalidad de Granger	C, CO ₂ , CE	C→, CO ₂
Wan, Li, Colmillo Zhou (2016)	1990-2012	China	Cointegración de Johansen, causalidad de Granger	C, CE, CO ₂	C→CO ₂

Nota: →, ↔, ≠ representan causalidad bi-direccional, causalidad uni-direccional respectivamente. Las abreviaturas están definidas de la siguiente manera: CE= consumo de energía; C= Crecimiento Económico CO₂= emisiones de dióxido de carbono; ARDL= Autoregressive Distributed Lag model.

Muchos estudios utilizan diversos métodos para dar a conocer un tema de interés ya que es un medio indispensable para verificar, orientar y llevar a cabo una solución. La Tabla 2 indican las diversas metodologías. Según Appiah (2018), utiliza por las conclusiones mixtos de diferentes trabajos debido a formas funcionales adaptadas en los países desarrollados. Con respecto Mirza y Kanwal (2017), aplican para reunir más pruebas sobre la relación entre el consumo de energía, emisiones de CO₂ y crecimiento económico de forma simultánea debido a que no hay consenso entre los economistas en la dirección de causalidad entre el crecimiento y consumo de energía. Sin embargo, Esso y Keho (2016), emplean para conocer por qué en varios países no apoya a la curva ambiental de kuznets. Además Robledo y Olivares (2013), aplican la metodología de datos de panel con un enfoque previamente hablado para indicar relación que existe entre las emisiones de CO₂ (dióxido de carbono), el consumo de energía y el PIB.

4. Discusión de resultados

Esta sección muestra los resultados de los modelos econométricos planteados en la sección previa VAR y VEC aplicados a las variables de consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono. Los resultados son los esperados debido a la significancia del modelo VAR y del modelo VEC. En primera instancia antes de presentar los resultados del modelo VAR de la relación estimada en esta investigación, se muestra los resultados del test de Dickey Fuller Aumentada, el test comprueba la hipótesis nula, de que una serie presenta raíces unitarias frente a la alternativa de estacionariedad por ende es importante aplicar primeras diferencias. Se puede observar que la variable emisiones de dióxido de carbono y consumo de energía en niveles es estacionaria y el efecto tendencial se elimina al obtener la primera diferencia. Este resultado es consistente en el trabajo de Rentería, Toledo, Bravo y Ochoa (2016). Mientras tanto Al-Mulali, Fereidouni, Lee Sab (2013), aluden lo mismo pero recalcan que las pruebas de raíz de la unidad de panel tienen mayor potencia que la

raíz de la unidad pruebas basadas en las series de tiempo. La Tabla 3 resume los resultados de esta prueba.

Tabla 3. Prueba de Dickey y Fuller

	Niveles				Primeras Diferencias				I (q)
	Valor	Valor crítico			Valor	Valor crítico			
	Calculado	1 %	5 %	10 %	calculado	1 %	5 %	10 %	
Emi CO2	-2.087	-3.628	-2.950	-2.608	-8.005	-3.634	-2.952	-2.610	I (1)
Consumo E	-1.950	-3.628	-2.950	-2.608	-4.629	-3.634	-2.952	-2.610	I (1)

Luego de verificar si las series son estacionarias en primeras diferencias, estimamos las ecuaciones (2) y se aplicó la prueba de Cointegración de Johansen para verificar la relación de largo plazo entre las variables.

Tabla 4. Resultados de la prueba de cointegración de Johansen

Maximum rank	Parma	LL	Eigenvalue	Trace statistic	5% critical value
0	12	65,662	-	63,22	29,68
1	17	92,261	0,726	10,24	15,41
2	20	97,029	0,207	0,588	3,76
3	21	97,323	0,014	-	-

La tabla 4 resume los resultados obtenidos. La tabla proporciona la existencia de 1 vector de Cointegración entre las variables, incluido la variable dummy que refleja el cambio estructural que experimento la economía ecuatoriana durante la dolarización. Esto implica que tiene una relación de equilibrio a largo plazo. Sin embargo Shahbaz, Mutascu y Azim (2013), muestran que hay dos vectores de integración por lo que se incluyó una variables adicional que es el crecimiento económico y las variables habladas. Los resultados previos son consistentes con aquellos trabajos reportados de otras investigaciones aplicadas en otros países, como en el trabajo de Bastola y Sapkota (2015); Sharif, Jammazi, Raza y Shahzad (2017); Peng, Zeng, Wang y Hong (2015). Y utilizando el enfoque ARDL como lo realizaron Bah y Azam (2017) quienes alude lo mismo. Sin embargo Ozcan (2013) y Al-Mulali (2014), mencionan que no existe un equilibrio a largo plazo utilizando datos de panel. Mientras tanto contrarrestando con otras investigaciones y compilados de la revisión de la literatura previa, Wang, Li y Fang (2018) y Dogan y Aslan (2017), establecen la presencia de un vector de integración utilizando la metodología de panel, de igual manera menciona Zakarya, Mostefa, Abbes y Seghir (2015), aplicando la misma metodología. Por su parte Ahmad et al (2016), realizaron un estudio relacionando el equilibrio a corto y largo plazo entre las emisiones de carbono, consumo de energía y el crecimiento económico. Los resultados muestran que existe una relación de cointegración a largo plazo y se valida en niveles agregados y desagregados.

Tabla 5. Resultados del modelo de Corrección de error VEC.

Beta	Coef.	Std. Err	z	P _z	(95 % Conf. Interval)
Emisiones	1	-	-	-	-
ΔConsumo de energía	-2.073	2,63e-08	-7,9e+07	0,00	-2,073
Dicótoma	-0.040	2,83e-09	-1,4e+07	0,00	-0,040
CE constante	-1	4,40e-09	-2,3e+08	0,00	-1
	0,0812				

La Tabla 5 muestra los resultados para el modelo de corrección de error (VEC), estimado para verificar la existencia de un equilibrio de corto plazo, como fue planteado en la estrategia metodológica, el coeficiente asociado el (CEt-1) rezagado es estadísticamente significativo por ende

indica la existencia de un equilibrio de corto plazo. Los resultados de equilibrio a corto plazo obtenidas en esta investigación entre las variables de consumo de energía y Emisiones de CO₂ son similares a los resultados previos en la revisión de literatura obtenidos por Esso y Keho (2016); Alkhatlan y Javid (2013); Salahuddin, Alam, Ozturk y Sohag (2017). Aunque por lo contrario utilizando panel Al-Mulali (2014), menciona que no existe un equilibrio a corto plazo. Contra restado con otros estudios Marques, Fuinhas y Nunes (2016), menciona que no existe la presencia de equilibrio a corto plazo, además indica que la energía ha sido un gran impulsor de la economía crecimiento y, al mismo tiempo, conduce a un entorno con menor CO₂ emisiones. Por su parte Rahman y Kashem (2017), la producción industrial y el consumo de energía tienen un impacto positivo significativo en las emisiones de carbono en el corto plazo.

Finalmente, la prueba de causalidad de Granger indica que es significativo y que existe una relación causal unidireccional entre el consumo de energía y emisiones de CO₂, (dEmiCO₂ ? dConsumoE). Estos resultados indican que las emisiones de CO₂ (Dióxido de carbono) incide del consumo de energía. Resultados similares encontraron Bah y Azam (2017); Tang y Tan (2015), utilizando metodología de series de tiempo, mientras tanto Alshehry y Belloumi (2015), que planteaba la relación causal empírica entre el consumo de energía y el CO₂ emisiones y crecimiento económico, señalan una relación inversa entre CO₂ y PIB, por otro lado indican que existe una causalidad unidireccional que va desde el consumo de energía y las emisiones de CO₂, según Kasman y Duman (2015), utilizando datos de panel. Sin embargo Bastola y Sapkota (2015); Saboori y Sulaiman (2013); Allali, Tamali y Rahli (2015) aluden la existencia de causalidad bidireccional entre el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono señalando siempre y cuando que estén acompañadas de otras variables. Por su parte Shahbaz, Mahalik, Shah y Sato (2016), en su trabajo de investigación detecta la dirección de la causalidad entre el dióxido de carbono CO₂, consumo de energía, y crecimiento económico en 11 países, los resultados menciona que el crecimiento económico es la causa del CO₂ emisiones en Bangladesh y Egipto. Y además Crecimiento económico causa el consumo de energía en Filipinas, Turquía y Vietnam.

Para observar cómo la volatilidad de cada variable se extiende a otras variables, se llevó a cabo la función de respuesta al impulso. La función de respuesta de impulso hace posible rastrear el impacto de una variable en un choque o innovación en valores actuales y futuros. La figura 3 muestra los resultados.

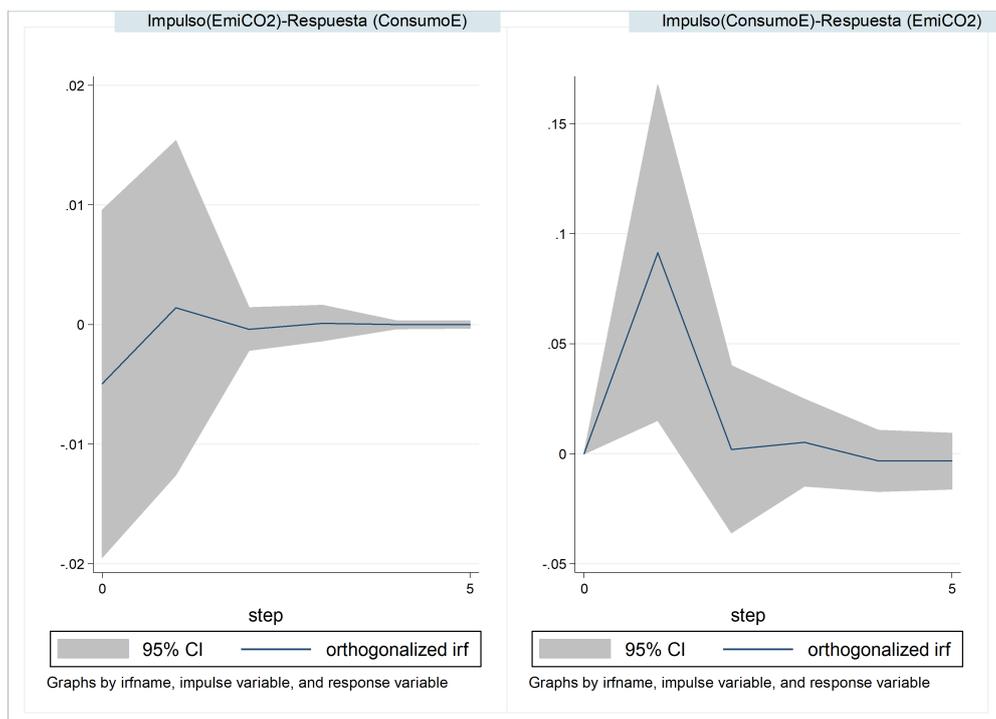


Figura 3. Impulso respuesta de las Emisiones de dióxido de carbono y consumo de energía

Dada la figura 3 podemos decir, que en el panel A, el impacto de emisiones de dióxido de carbono es afectado ante un shock de un incremento de energía en el primer periodo y los periodos restantes permanecen constantes, por las inversiones hidroeléctricas. En el panel B, el impacto del consumo de energía ocasiona un incremento de dióxido de carbono en el primer periodo, mientras tanto en el segundo periodo ocasiona un decremento y en los periodos restantes permanecen constantes. En cuanto al análisis de impulso respuesta encontrados en el trabajo de Wang, Li, Fang y Zhou (2016), mencionan que el impacto de Co2 emisiones de choques en tanto el consumo de energía y el crecimiento económico sea solo marginalmente significativa. Con relación a Wang et al (2018), alude que las innovaciones en la urbanización inicialmente tienen un impacto significativamente positivo en relación con las emisiones de CO2. Sin embargo el crecimiento económico y la urbanización al consumo de energía parecen ser bastante marginales en comparación. De acuerdo con estos resultados, las innovaciones en el consumo de energía producen un resultado insignificante.

5. Conclusiones

Esta investigación examinó relación de equilibrio a corto y largo plazo del consumo de energía sobre las emisiones de dióxido de carbono en Ecuador durante el periodo 1971-2014. Bajo el enfoque de la hipótesis de EKC. Mediante modelos de series de tiempo, y utilizando las técnicas VAR, VEC. Con respecto a la primera técnica encontramos una relación de equilibrio de largo plazo entre EmiCO2 y Consumo de energía. Mediante el modelo de corrección de error encontramos que hay una relación de corto plazo entre las variables antes descritas. Adicional a ello, fue necesario agregar una variable dummy que capture el efecto de la degradación ambiental para que exista relación de largo plazo. Las pruebas de causalidad Granger indican que existe una relación unidireccional entre las EmiCO2 y el consumo de energía. Finalmente, en general los resultados muestran que el consumo de energía influye positivamente a las Emisiones de CO2 en el corto y en el largo plazo. La posible implicación de política pública según los resultados obtenidos es necesario que el gobierno implemente medidas de eficiencia energética, además debe aplicar una normativa legal en donde establezca los límites del consumo de energía y los impuestos por consumo de más, o también incentivando a la gente a adquirir productos de bajas emisiones de carbono, de esta manera se puede hacer efectivo la reducción de emisiones de CO2 provocado por el consumo de energía.

Referencias bibliográficas

- [1] Ahmad, A., Zhao, Y., Shahbaz, M., Bano, S., Zhang, Z., Wang, S., y Liu, Y. (2016). Carbon emissions, energy consumption and economic growth: An aggregate and disaggregate analysis of the Indian economy. *Energy Policy*, 96, 131-143.
- [2] Ajmi, A. N., Hammoudeh, S., Nguyen, D. K., y Sato, J. R. (2013). On the relationships between CO2emissions, energy consumption and income: The importance of time variation. *Energy Economics*, 49, 629-638.
- [3] Alam, M. M., Murad, M. W., Noman, A. H. M., y Ozturk, I. (2016). Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. *Ecological Indicators*, 70, 466-479.
- [4] Alkhatlan, K., y Javid, M. (2013). Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Saudi Arabia: An aggregate and disaggregate analysis. *Energy Policy*, 62, 1525-1532.
- [5] Allali, M., Tamali, M., y Rahli, M. (2015). The Impact of CO2 Emission on Output in Algeria. *Energy*, 74, 234-242.
- [6] Al-Mulali, U. (2014). Investigating the impact of nuclear energy consumption on GDP growth and CO2 emission: A panel data analysis. *Progress in Nuclear Energy*, 73, 172-178. 2

- [7] Al-Mulali, U., y Sheau-Ting, L. (2014). Econometric analysis of trade, exports, imports, energy consumption and CO₂emission in six regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 484-498.
- [8] Al-Mulali, U., Fereidouni, H. G., Lee, J. Y. M., y Sab, C. N. B. C. (2013). Exploring the relationship between urbanization, energy consumption, and CO₂emission in MENA countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 107-112.
- [9] Alshehry, A. S., y Belloumi, M. (2015). Energy consumption, carbon dioxide emissions and economic growth: The case of Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 237-247.
- [10] Alvarado, R., y Toledo, E. (2017). Environmental degradation and economic growth: evidence for a developing country. *Environment, Development and Sustainability*, 19(4), 1205-1218.
- [11] Alvarado, R., Ponce, P., Criollo, A., Córdova, K., Khan, M. K. (2018). Environmental degradation and real per capita output: New evidence at the global level grouping countries by income levels. *Journal of Cleaner Production*, 189, 13-20.
- [12] Appiah, M. O. (2018). Investigating the multivariate Granger causality between energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in Ghana. *Energy Policy*, 112, 198-208.
- [13] Bah, M. M., y Azam, M. (2017). Investigating the relationship between electricity consumption and economic growth: Evidence from South Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 531-537.
- [14] Bastola, U., y Sapkota, P. (2015). Relationships among energy consumption, pollution emission, and economic growth in Nepal. *Energy*, 80, 254-262.
- [15] Bilgili, F., Koçak, E., y Bulut, Ü. (2016). The dynamic impact of renewable energy consumption on CO₂ emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 838-845.
- [16] Boutabba, M. A. (2014). The impact of financial development, income, energy and trade on carbon emissions: Evidence from the Indian economy. *Economic Modelling*, 40, 33-41.
- [17] Cansino, J. M., Román, R., y Ordóñez, M. (2016). Main drivers of changes in CO₂emissions in the Spanish economy: A structural decomposition analysis. *Energy Policy*, 89, 150-159.
- [18] Chiu, Y. Bin. (2017). Carbon dioxide, income and energy: Evidence from a non-linear model. *Energy Economics*, 61, 279-288.
- [19] Dogan, E., y Aslan, A. (2017). Exploring the relationship among CO₂emissions, real GDP, energy consumption and tourism in the EU and candidate countries: Evidence from panel models robust to heterogeneity and cross-sectional dependence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(February 2016), 239-245.
- [20] Ezzo, L. J., y Keho, Y. (2016). Energy consumption, economic growth and carbon emissions: Cointegration and causality evidence from selected African countries. *Energy*, 114, 492-497.
- [21] Farhani, S., Chaibi, A., y Rault, C. (2014). CO₂ emissions, output, energy consumption, and trade in Tunisia. *Economic Modelling*, 38, 426-434.
- [22] Ito, K. (2017). CO₂ emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, 151, 1-6.
- [23] Jaforullah, M., y King, A. (2017). The econometric consequences of an energy consumption variable in a model of CO₂ emissions. *Energy Economics*, 63, 84-91.

- [24] Kasman, A., y Duman, Y. S. (2015). CO2 emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: A panel data analysis. *Economic Modelling*, 44, 97-103.
- [25] Marques, A. C., Fuinhas, J. A., y Nunes, A. R. (2016). Electricity generation mix and economic growth: What role is being played by nuclear sources and carbon dioxide emissions in France - *Energy Policy*, 92, 7-19.
- [26] Mavromatidis, G., Orehounig, K., Richner, P., y Carmeliet, J. (2016). A strategy for reducing CO2 emissions from buildings with the Kaya identity - A Swiss energy system analysis and a case study. *Energy Policy*, 88, 343-354.
- [27] Mensah, J. T. (2014). Carbon emissions, energy consumption and output: A threshold analysis on the causal dynamics in emerging African economies. *Energy Policy*, 70, 172-182.
- [28] Mirza, F. M., y Kanwal, A. (2017). Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Pakistan: Dynamic causality analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1233-1240.
- [29] Mirzaei, M., y Bekri, M. (2017). Energy consumption and CO2 emissions in Iran, 2025. *Environmental Research*, 154, 345-351.
- [30] Narayan, P. K., y Popp, S. (2012). The energy consumption-real GDP nexus revisited: Empirical evidence from 93 countries. *Economic Modelling*, 29(2), 303-308.
- [31] Ozcan, B. (2013). The nexus between carbon emissions, energy consumption and economic growth in Middle East countries: A panel data analysis. *Energy Policy*, 62, 1138-1147.
- [32] Park, J., y Hong, T. (2013). Analysis of South Korea's economic growth, carbon dioxide emission, and energy consumption using the Markov switching model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 543-551.
- [33] Peng, L., Zeng, X., Wang, Y., y Hong, G. B. (2015). Analysis of energy efficiency and carbon dioxide reduction in the Chinese pulp and paper industry. *Energy Policy*, 80, 65-75.
- [34] Rahman, M. M., y Kashem, M. A. (2017). Carbon emissions, energy consumption and industrial growth in Bangladesh: Empirical evidence from ARDL cointegration and Granger causality analysis. *Energy Policy*, 110(March), 600-608.
- [35] Robledo, J. C., Olivares, W. (2013). Relación entre las emisiones de CO2, el consumo de energía y el PIB: el caso de los CIVETS. *Semestre Económico Universidad de Medellín*, 16(33), 45-65.
- [36] Saboori, B., y Sulaiman, J. (2013). Environmental degradation, economic growth and energy consumption: Evidence of the environmental Kuznets curve in Malaysia. *Energy Policy*, 60, 892-905.
- [37] Salahuddin, M., Alam, K., Ozturk, I., y Sohag, K. (2017). The effects of electricity consumption, economic growth, financial development and foreign direct investment on CO2 emissions in Kuwait. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (xxxx), 1-9.
- [38] Shafiei, S., y Salim, R. A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energy Policy*, 66, 547-556.
- [39] Shahbaz, M., Mahalik, M. K., Shah, S. H., y Sato, J. R. (2016). Time-varying analysis of CO2 emissions, energy consumption, and economic growth nexus: Statistical experience in next 11 countries. *Energy Policy*, 98, 33-48.
- [40] Shahbaz, M., Mutascu, M., y Azim, P. (2013). Environmental Kuznets curve in Romania and the role of energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18(January 2007), 165-173.

- [41] Sharif, A., Jammazi, R., Raza, S. A., y Shahzad, S. J. H. (2017). Electricity and growth nexus dynamics in Singapore: Fresh insights based on wavelet approach. *Energy Policy*, 110(July), 686-692.
- [42] Tajudeen, I. A. (2015). Examining the role of energy efficiency and non-economic factors in energy demand and CO2 emissions in Nigeria: Policy implications. *Energy Policy*, 86, 338-350.
- [43] Tang, C. F., y Tan, B. W. (2015). The impact of energy consumption, income and foreign direct investment on carbon dioxide emissions in Vietnam. *Energy*, 79(C), 447-454.
- [44] Victor, R., Elisa, T., Diana, B., y Diego, O. (2016). Relación entre Emisiones Contaminantes, Crecimiento Económico y Consumo de Energía. El caso de Ecuador 1971-2010 Relationship between Pollutant Emissions, Economic Growth and Energy Consumption. The case of Ecuador 1971-2010, 38(1).
- [45] Wang, S., Li, G., y Fang, C. (2018). Urbanization, economic growth, energy consumption, and CO2 emissions: Empirical evidence from countries with different income levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(June), 2144-2159.
- [46] Wang, S., Li, Q., Fang, C., y Zhou, C. (2016). The relationship between economic growth, energy consumption, and CO2 emissions: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*, 542, 360-371.
- [47] Yuan, J., Xu, Y., Hu, Z., Zhao, C., Xiong, M., y Guo, J. (2014). Peak energy consumption and CO2 emissions in China. *Energy Policy*, 68, 508-523.
- [48] Zakarya, G. Y., Mostefa, B., Abbas, S. M., Seghir, G. M. (2015). Factors Affecting CO2 Emissions in the BRICS Countries: A Panel Data Analysis. *Economics and Finance*, 26(May), 114-125.
- [49] Zhang, Y.-J., Bian, X.-J., Tan, W., Song, J. (2017). The indirect energy consumption and CO2 emission caused by household consumption in China: an analysis based on the input-output method. *Journal of Cleaner Production*, 163, 69-83.