

El papel del consumo de energías renovables sobre los gases de efecto invernadero a nivel global: Análisis econométrico de datos de panel

The role of renewable energy consumption on global greenhouse gases: Econometric analysis of panel data

Leidy Caraguay¹ | Michelle López-Sánchez ²

¹Carrera de Economía, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

²Carrera de Economía, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

Correspondencia

Leidy Caraguay, Carrera de Economía,
Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador
Email: leidy.caraguay@unl.edu.ec

Agradecimientos

Club de Investigación de Economía (CIE)

Fecha de recepción

Julio 2021

Fecha de aceptación

Diciembre 2021

Dirección

Bloque 100. Ciudad Universitaria Guillermo
Falconí. Código Postal: 110150, Loja, Ecuador

RESUMEN

El objetivo de este documento es analizar el impacto del consumo de energías renovables sobre los gases de efecto invernadero a nivel global durante el periodo 1990 - 2015. Para comprobar dicha relación utilizamos la metodología de datos de panel y técnicas de cointegración. Los resultados confirman que el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero tienen una relación de equilibrio tanto en el corto como en el largo plazo, existiendo una relación negativa y significativa entre ambas variables, es decir, a mayor consumo de energía los gases de efecto invernadero tienden a disminuir exceptuando los países de ingresos extremadamente altos. Una implicación de política derivada de esta investigación es implementar políticas para reducir las emisiones de GEI, reemplazando las fuentes de energía fósil con fuentes de energía renovable e incentivar al sector público y privado a invertir en la utilización de este tipo de energías limpias.

Palabras clave: Energía renovable; Gases de efecto invernadero; Datos de panel.

Códigos JEL: C01. C33. Q42. Q53.

ABSTRACT

The objective of this document is to analyze the impact of renewable energy consumption on greenhouse gases at a global level during the period 1990 - 2015. To verify this relationship, we used the panel data methodology and cointegration techniques. The results confirm that energy consumption and greenhouse gas emissions have an equilibrium relationship both in the short and long term, with a negative and significant relationship between both variables, that is, the higher the energy consumption the higher the Greenhouse gases tend to decline with the exception of extremely high-income countries. A policy implication derived from this research is to implement policies to reduce GHG emissions, replacing fossil energy sources with renewable energy sources and incentivize the public and private sectors to invest in the use of this type of clean energy.

Keywords: Renewable energy; Greenhouse gases; Panel data.

JEL codes: C01. C33. Q42. Q53.

1 | INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es uno de los problemas más preocupantes a nivel mundial, siendo un desafío difícil de abatir, pues el aumento de la deforestación, desarrollo industrial, poblacional y procesos para mejorar la calidad de vida han contribuido a una aceleración del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), provocando que los eventos climáticos sean más fuertes y letales. Según datos de la Organización Meteorológica Mundial (2018) en el 2017 los GEI obtuvieron un crecimiento record al registrar $405,5 \pm 0,1$ ppm para el CO₂, 1859 ± 2 ppb para el CH₄ y $329,9 \pm 0,1$ ppb para el N₂O. De acuerdo con datos del Banco Mundial (2012) los principales emisores de gases de efecto invernadero (kilotoneladas equivalente del CO₂) en el mundo en el 2012 está encabezado por China con 12.454.711 kt, Estados Unidos (6.343.841 kt), India (3.002.895 kt), Brasil (2.989.418 kt), Rusia (2.803.398 kt), Japón (1.478.859 kt), Canadá (1.027.064 kt), Indonesia (780.551 kt), Australia (761.686 kt), Corea (668.990 kt), México (663.425), Bolivia (621.727 kt) y Reino Unido (585.779 kt) y África del sur (546.809 kt).

El principal causante de las emisiones de GEI es el consumo excesivo de energía proveniente de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, este tipo de combustibles son dominantes en la mayoría de países del mundo, visto que contribuyen en gran medida en sus procesos productivos e industrias (Mohlin et al., 2018). La relación entre el consumo de energía fósil, las emisiones contaminantes y el crecimiento económico ha sido ampliamente analizada con diferentes métodos econométricos con el fin de comprobar la validez de la teoría medioambiental de Kuznets (1955), la cual establece que el desarrollo económico y contaminación ambiental asume una forma de U invertida, pues los niveles de contaminación aumentan a medida que el país se desarrolla llegando a un punto límite en donde empiezan a decaer gracias al aumento de los niveles de ingreso (Liobikienė & Butkus, 2017; Kasman & Duman, 2015). Si bien dicha teoría se cumple en varias economías, en otras los resultados pueden variar por diversos factores como la demografía, estructura energética, comercio e industrias (Poumanyong & Kaneko, 2010). Utilizar nuevas tecnologías y procedimientos para fomentar el uso de energías renovables es una de las alternativas más sugeridas para combatir la contaminación ambiental, estableciendo que las energías limpias tienen una relación negativa significativa con los gases de efecto invernadero, dado que, a medida que aumenta el uso de energías limpias el nivel de emisiones de GEI disminuye (Nikzad & Sedigh, 2017; Oehmichen & Thrän, 2017; Khondaker et al., 2016; Anders et al., 2015).

El objetivo de esta investigación es analizar la relación entre el consumo de energía renovable y las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global durante el periodo 1990 - 2015. Con la finalidad de comprobar esta relación, se utilizó modelos de datos de panel, aplicando el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y mínimos cuadrados generalizados (GLS); para determinar el equilibrio a corto y largo plazo. Los resultados confirman que el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero tienen una relación de equilibrio tanto a corto como a largo plazo, existiendo una relación negativa y significativa entre ambas variables, es decir, cuando aumenta el consumo de energía los gases de efecto invernadero tienden a disminuir exceptuando los países de ingresos extremadamente altos. Una implicación de política derivada de esta investigación es implementar políticas para reducir las emisiones de GEI reemplazando el uso de fuentes de energía fósil con fuentes de energía renovable e incentivar al sector público y privado a invertir en este tipo de energías para su producción, con el fin de encontrar nuevas fuentes de energías limpias. Este documento contribuye a la literatura empírica con resultados globales, diferenciando los patrones de consumo de energía renovables y el nivel de emisiones de

gases de efecto invernadero según el nivel de ingresos entre países.

Este artículo está estructurado en cinco secciones incluida la introducción. La segunda presenta una breve revisión de la literatura previa. La tercera sección se enfoca en los datos y métodos usados dentro del estudio. En la cuarta sección se presentan los resultados de la investigación y la discusión con la literatura previa. Finalmente, la quinta sección contiene las conclusiones y las implicaciones de política pública derivados del estudio.

2 | MARCO TEÓRICO Y EVIDENCIA EMPÍRICA

En la actualidad la preocupación por conservar y mejorar el medio ambiente se ha convertido en uno de los objetivos principales de los gobiernos a nivel mundial. De tal modo, se han realizado varias investigaciones para identificar los principales responsables del calentamiento global y establecer posibles soluciones que ayuden a mitigarlos (Ali et al., 2017; Mirza & Kanwal, 2017; Kais & Sami, 2016; Park & Hong, 2013; Soytas & Sari, 2007). En ese sentido, Paramati & Gupta (2017); Thitanuwat, Polprasert, & Englande (2017); Saboori & Sulaiman (2013); Ruiz & Ozawa (2011); Ang (2007) concluyeron que el consumo intensivo de las energías convencionales derivadas de los combustibles fósiles emite inmensas cantidades de gases contaminantes intensificando el daño ambiental.

La curva medioambiental de Kuznets (1955), es una de las teorías que respalda el análisis de la mayor parte de investigaciones relacionadas al consumo de energía y los GEI, aludiendo que el nivel de contaminación ambiental aumenta junto con el crecimiento económico hasta alcanzar cierto nivel de ingresos, en donde la calidad ambiental comienza a mejorar (Kasman & Duman, 2015; Salahuddin & Gow, 2014; Saboori & Sulaiman, 2013; Pao & Tsai, 2011). Debido a que, en el largo plazo, al tener mayores ingresos, las economías pueden implementar el uso de tecnologías amigables con el medio ambiente, tanto en los procesos de producción como en las actividades humanas (Farhani, Chaibi, & Rault, 2014; Saboori & Sulaiman, 2013; Poumanyong & Kaneko, 2010; Xiangzhao & Ji, 2008). Priorizando el uso de energías limpias que además de disminuir la contaminación ambiental, genera efectos positivos en el crecimiento económico a largo plazo (Ito, 2017).

La utilización de energías renovables es una de las opciones más recomendadas para mitigar los GEI, porque al ser producidas por la naturaleza y no agotarse a diferencia de las energías convencionales, su uso es ilimitado; entre las fuentes más populares e implementadas se encuentran la energía solar, biomasa, eólica e hidráulica, debido a su bajo costo de aplicación (Juana de Sardón, 2003). En este sentido, Sarango (2018) encontró la existencia de una relación de equilibrio de corto y largo plazo entre las dos variables y, una causalidad tipo Granger unidireccional que va desde las emisiones de dióxido de carbono hacia el consumo de energía. Además, Tillaguango & Loaiza (2019) estimaron el efecto de la energía sustentable y no sustentable en el crecimiento económico, resaltándose su significancia estadística, también se contrarresta el deterioro de los recursos naturales.

En este contexto, la evidencia empírica de la presente investigación se divide en tres grupos. El primer grupo analiza la relación del consumo de energía renovable y los gases de efecto invernadero en los países con altos ingresos. Autores como: Mohlin et al. (2018); Nordenstam, Ilic, & Ödlund (2018); Paramati & Gupta (2017); Şener, Sharp, & Anctil (2017); Moutinho & Robaina (2016); Baah-Acheamfour et al. (2016); Amponsah et al. (2014); Moreno et al. (2006), en sus estudios acotaron que en países como Estados Unidos, Alemania, Francia, Japón y España, al tener un gran número de población y mayor industrialización generan mayores emisiones

contaminantes al planeta, convirtiéndose en una de las principales preocupaciones mundiales, por tal motivo han intentado sustituir las energías convencionales por las energías limpias que les permitan seguir desarrollándose de una forma más amigable con el medio ambiente, provocando la disminución de los gases de efecto invernadero, y confirmando así la teoría medioambiental de Kuznets.

Adicionalmente, Jin & Kim (2018), en su estudio realizado en 30 economías utilizando datos de panel, confirmaron la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre las emisiones y consumo de energía renovable. En esa misma investigación, de acuerdo a los resultados del vector de cointegración y causalidad de Granger, las energías renovables contribuían a la disminución de las emisiones, concluyendo que expandir y desarrollar la energía renovable es esencial para combatir el calentamiento global. A pesar de los altos costos de las energías renovables, el consumo de estas promueve el crecimiento económico, siempre y cuando la implementación y combinación de políticas sean apropiadas, ya que son clave para que las energías limpias y el desarrollo económico se desenvuelvan sin contradicciones (Río, 2017).

Dentro del segundo grupo se incluyen los estudios para países con ingresos medios altos y bajos. Benedek, Sebestyén, & Bartók (2018); Chuang et al. (2018); Kim, Park, & Lee (2018); Pata (2018); Shahsavari & Akbari (2018); Hosseinzadeh-Bandbafha et al. (2018); Dong, Sun, & Hochman (2017), comprobaron al igual que el primer grupo, que países como Rumania, Taiwán, Brasil, China, India, entre otros, al implementar energías limpias en sus economías, el nivel de los gases contaminantes disminuyen obteniendo así una relación negativa entre ambas variables, es decir, que a medida que aumenta el uso de energías renovables los gases de efecto invernadero tienden a disminuir. Por otro lado, Ito (2016) en su estudio para 42 países en desarrollo, comprobó el impacto negativo que tiene el uso de las energías no renovables en las economías subdesarrolladas, siendo eficaz el uso de energías renovables para disminuir las emisiones contaminantes, sugiriendo formular políticas enfocadas en la inversión y desarrollo del sector de energías limpias, ya que además de mejorar la autosuficiencia energética genera nuevas fuentes de empleo y contribuye al crecimiento económico.

Finalmente, en el tercer grupo se ubican los países de ingresos bajos, en donde, Zoundi (2017); Jebli & Youssef (2017), en sus artículos para países de África (Argelia, Egipto, Marruecos, Sudán, Túnez, etc.) mediante técnicas de cointegración de panel y causalidad de Granger confirmaron que a largo plazo el consumo de energías limpias tiene una causalidad unidireccional con las emisiones, además de tener un impacto significativo en la mitigación de los GEI. Asimismo, Waheed et al. (2018) confirma efectos negativos y significativos del consumo de energías renovables en las emisiones en el corto y largo plazo en Pakistán. De acuerdo con Aized et al. (2018) en Pakistán existe una gran necesidad del uso de recursos naturales, no solo para la generación de energía sino también para el transporte y otros servicios sociales. Adicionalmente, Cherni & Jouini (2017); Boontome, Therdyothin, & Chontanawat (2017) en sus estudios en Túnez y Tailandia destacaron el uso de los recursos renovables como fuentes de energía para mitigar las emisiones, recalando que su utilización como solución aún tiene un largo camino y se ralentiza debido a los elevados costos de inversión de las tecnologías para transformar los recursos naturales en energía. En ese sentido, Mittal et al. (2016) señala que es fundamental aplicar políticas nacionales que estén acorde al clima de cada economía, para aprovechar y buscar recursos naturales generadores de energía.

3 | DATOS Y METODOLOGÍA

3.1 | Datos

Los datos copiados de esta investigación provienen de los indicadores de Desarrollo Mundial publicados por el Banco Mundial (2018), con una cobertura temporal que va desde 1990 al 2015 para 148 países a nivel global. La variable dependiente son las emisiones de gases de efecto invernadero en toneladas métricas equivalentes del CO₂ y la variable independiente es el consumo de energía renovable en porcentaje de consumo total de energía final, véase la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de las variables empleadas en el modelo econométrico

Variable	Notación	Descripción	Unidad de medida
Variable dependiente: Gases de efecto invernadero	GEI	El consumo de energía renovable es la participación de la energía renovable en el consumo total de energía final. Las emisiones totales de gases de efecto invernadero en kt de CO ₂ equivalente están compuestas por totales de CO ₂ excluyendo la quema de biomasa de ciclo corto (quema de residuos agrícolas) pero incluyendo otra quema de biomasa (incendios forestales, deterioro post-combustión, etc.) y todas las fuentes antropogénicas de CH ₄ , fuentes de N ₂ O y gases fluorados (HFC, PFC y SF ₆).	Toneladas métricas equivalentes del CO ₂
Variable independiente: Energía renovable	EnRenv		Porcentaje de consumo total de energía final

En la Tabla 2, se muestra los estadísticos descriptivos del consumo de energía renovable y los gases de efecto invernadero, en donde se analiza la media, la desviación estandar, valores mínimos y máximos y el número de observaciones entre los países analizadas. El consumo de energías renovables y los GEI presentaron mas

variaciones entre los países que dentro de los países, ya que su desviación estandar entre variables es superior a la desviación estandar dentro. El número de observaciones disponibles aseguran que los parámetros se generalizan entre países y en el tiempo.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las variables

Variable		Media	Des. Est.	Min.	Max.	N	
Energía renovable	Overall	36.34	31.85	-2.44	196.07	N=	3874
	Between		31.1	0.38	95.31	n=	148
	Within		7.16	-9.58	175.68	T-bar	26
Gases de efecto invernadero	Overall	10.71	2.11	3.67	16.34	N=	3874
	Between		2.09	3.81	15.74	n=	148
	Within		0.36	6.29	14.17	T-bar	26

Las investigaciones recientes han argumentado que la implementación de energías renovables ayuda a disminuir las emisiones de GEI. La Figura 1 muestra la correlación que existe entre el consumo de energía renovable y las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global desde 1990 al 2015, en la cual se observa que nivel GLOBAL, PIMA y PIA al aumentar el consumo de energías ren-

ovables, las emisiones de GEI disminuyen, mostrando una relación negativa significativa; en los PIMB y PIEB la relación es negativa pero las emisiones de GEI se mantienen. Sin embargo, los PIEA y PIB muestra una relación positiva, existiendo poco consumo de energía limpia y un mayor grado de emisiones contaminantes.

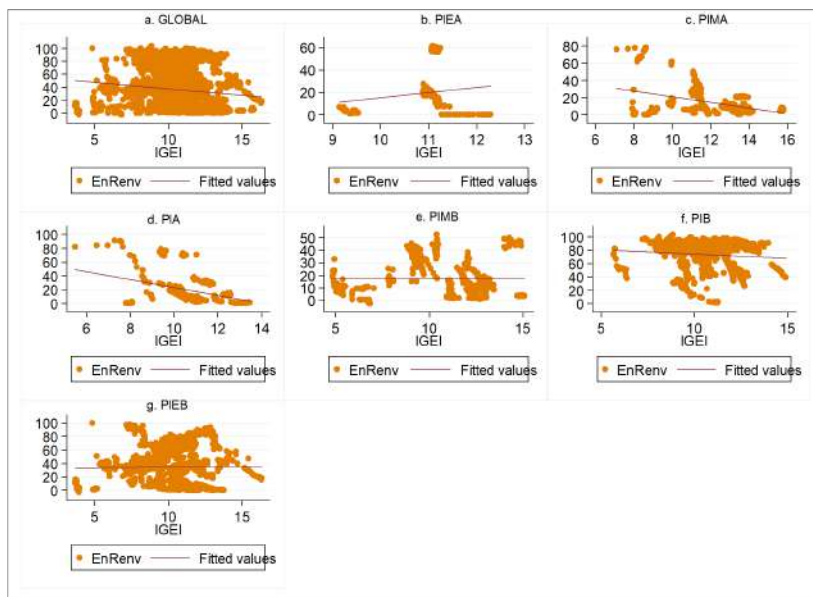


Figura 1. Correlación entre el consumo de energía y los gases de efecto invernadero a nivel mundial según el nivel de ingreso

3.2 | Metodología

Para verificar económicamente y cumplir con el objetivo planteado; primero se realizó un modelo de regresión básica con datos de panel usando el procedimiento de MCO donde la variable dependiente es el consumo de energía renovable del país i en el periodo $t = (EnRenv_{i,t})$, y la variable independiente es el total de gases de efecto invernadero $(GEI_{i,t})$. Se contó con 148 países, es decir $i = 148$ y con un periodo de análisis comprendido desde 1990 al año 2015 ($t = 1990 - 2015$). La ecuación (1) formaliza esta relación.

$$(GEI_{i,t}) = (\alpha_0 + \beta_0) + \alpha_1 \text{Log}EnRenv_{i,t} + \theta_{i,t} \quad (1)$$

Luego, se escogió entre efectos fijos y aleatorios mediante el test de Hausman (1978). Teniendo en consideración que la ecuación

(1) presenta dos problemas propios de datos de panel: autocorrelación y heterocedasticidad. Por lo tanto, se estimó la ecuación (2) utilizando regresiones de mínimos cuadrados generalizados (GLS).

$$y_t = \alpha_0 + \lambda y_{t-1} + \alpha_1 t + \sum_{j=2}^p \beta_j y_{t-j-1} + \epsilon_t \quad (2)$$

Cuando el parámetro (λy) de la ecuación (2) es significativo podemos inferir en que al menos uno de los paneles tiene una raíz unitaria. Para garantizar que las series no tengan problema de raíz unitaria, empleamos un conjunto de pruebas como: Dickey & Fuller Augmented (1981); Phillips & Perron (1988); Levine, Lin, & Chu (2002); Breitung (2002); Im, Pesaran, & Shin (2003), que coinciden al generar primeras diferencias se elimina el efecto tendencial de las variables del modelo.

Para determinar el equilibrio a corto y largo plazo entre las variables utilizamos la prueba de cointegración desarrollada por Pedroni (1999), el equilibrio a largo plazo se determina con base en la ecuación (3).

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{j=1}^{n-1} \beta_{ij} X_{i,t-j} + \sum_{j=1}^{n-1} \omega_{ij} y_{i,t-j} + \pi ECT_{t-j} + \epsilon_{i,t} \quad (3)$$

En la ecuación (3), $(y_{i,t})$ representa la variable dependiente del país i en el periodo t . Los parámetros (β, ω, π) son los parámetros a estimar y el término (ECT_{t-j}) es el vector de cointegración de equilibrio a largo plazo. Por último, $(\epsilon_{i,t})$ es el término de error aleatorio estacionario con media cero y j es la longitud del desfase. Posteriormente, se utilizó un modelo de corrección de errores para determinar el equilibrio a corto plazo entre las series utilizando la prueba de corrección de errores de Westerlund (2007), en base a la ecuación (4).

$$y_{i,t} = \delta_i d_i + \alpha_i (y_{i,t-1} - \beta_i X_{i,t-1}) + \sum_{j=1}^{p_i} \alpha_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=-q_i}^{p_i} \gamma_{ij} X_{i,t-j} + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

Donde $t = 1, \dots, T$ periodos de tiempo y en $i = 1, \dots, N$ países. El término (d_i) es el componente determinista. Por lo tanto, confiamos en la suposición de que el vector k -dimensional de $(X_{i,t})$ (representa a la inversión extranjera directa) es aleatorio e independiente de $(\epsilon_{i,t})$ lo que supone que estos errores son independientes a través de i y t . Por lo tanto, la hipótesis nula establece que no hay cointegración a corto plazo.

Siguiendo la metodología procedemos a verificar la existencia o no de un vector de cointegración mediante el enfoque de Pedroni (2001). Lo que permite es evaluar cuán fuerte es el vector de equilibrio entre el consumo de energías renovables y los GEI. Para determinar la fuerza de la relación de las dos variables en cada país, se estimó el modelo dinámico de mínimos cuadrados ordinarios (DOLS) y para grupos de países mediante una dinámica ordinaria del modelo de panel de mínimos cuadrados (PDOLS). La ecuación (5) muestra la relación.

$$y_{i,t} = \alpha_i + \delta_i X_{i,t} + \sum_{j=-P}^P \gamma_{i,t} \Delta X_{i,t-j} + \mu_{i,t} \quad (5)$$

Finalmente, siguiendo el modelo propuesto por Dumitrescu & Hurlin (2012) y llevado a la literatura empírica de datos de panel, determinamos la existencia y dirección del tipo de causalidad Granger (1988) para modelos con datos de panel, que puede ser estimado a partir de la ecuación (6).

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_i^K Y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^K \beta_i^K X_{i,t-k} + \mu_{i,t} \quad (6)$$

El término $(y_{i,t})$ representa el crecimiento económico. La prueba de causalidad se verifica entre pares de variables por separado. La letra $(X_{i,t})$ denota la variable independiente. Suponemos que $(\beta_i = \beta_i^1, \dots, \beta_i^K)$, se supone que el término (α_i) está fijo en la dimensión de tiempo. El parámetro autorregresivo (γ_i^K) y el coeficiente de regresión (β_i^K) varían entre las secciones transversales. La hipótesis nula para verificar es que no existe una relación causal para ninguna de las secciones transversales del panel. A saber, (H_0) : $(\beta_j = 0)$; $(\forall_j = 1, 2, \dots, N)$.

4 | DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En esta investigación se utilizaron varias pruebas, como la de Hausman (1978), la cual ayuda a elegir entre los modelos de efectos fijos (FE) y los efectos aleatorios (RE). Para detectar problemas de autocorrelación aplicamos la prueba de Wooldridge (2002) y la prueba de Wald para detectar la heterocedasticidad. La Tabla 3 reporta las estimaciones del consumo de energía renovables y el total de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global y por grupos de países de la ecuación (1). De acuerdo con la prueba de Hausman (1978), los paneles PIEA, PIA y PIB se estimaron con FE y los paneles de GLOBAL, PIMA, PIMB y PIEB con RE. Los resultados obtenidos muestran una relación negativa y estadísticamente significativa entre el consumo de energía renovable y las emisiones de GEI a nivel global y para cada grupo de países. Por lo tanto, las emisiones de gases d efecto invernadero disminuyen a medida que una economía aumenta su consumo de energía limpia. El modelo de mínimos cuadrados generalizados (GLS), nos permite eliminar posibles complicaciones de distorsión en el término de perturbación dando resultados confiables en comparación con las pruebas de MCO tradicionales (Waheed et al., 2018).

Tabla 3. Relación entre el consumo de energía y los gases de efecto invernadero a nivel mundial según el nivel de ingreso (GLS)

	GLOBAL	PIEA	PIA	PIMA	PIMB	PIB	PIEB
Log(Gases de efecto invernadero)	-1.129*** (-7.40)	6.219** -3.02	-1.397*** (-4.83)	-2.864*** (-4.73)	-0.258 (-0.99)	-0.709** (-2.98)	-0.871*** (-3.70)
Constant	31.58*** -14.52	-48.99* (-2.21)	26.67*** -6.88	41.79*** -5.91	15.11*** -4.7	34.96*** -12.58	92.59*** -32.93
Housmas tests (p-value)	0.142	0.001	0.542	0	0.186	0.032	0.938
Serial correlation test (p-value)							
Fixed effects (time)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Fixed effects (country groups)	No	Yes	No	Yes	No	No	Yes
Observations	3848	130	598	312	546	1378	884

estadístico t en paréntesis * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

Con el fin de confirmar que las series no sean estacionarias se utilizó la prueba de raíz unitaria de datos de panel a través de cinco pruebas independientes. Las pruebas de Levine, Lin, & Chu (2002); Im, Pesaran, & Shin (2003); Breitung (2002) son paramétricas y, las pruebas de Fisher de Dickey & Fuller Augmented (1981); Phillips & Perron (1988) son no paramétricas. Estas pruebas fueron propuestas por Maddala & Wu (1999) y Breitung (2002) basadas en la homo-

geneidad de la raíz unitaria. La Tabla 4 muestra los resultados con y sin efectos de tiempo de la raíz unitaria del consumo e informa los resultados de la prueba de raíz unitaria del consumo de energía renovable y las emisiones de gases de efecto invernadero. Para dichas pruebas el análisis es por niveles y primeras diferencias, en donde, existe alta consistencias y no hay problemas de raíz unitaria con un orden de integración 1.

Los resultados de las pruebas de raíz unitaria coinciden con los resultados encontrados por Ito (2017); Jin & Kim (2018), quienes realizaron las pruebas de LL, IPS y UB; Cherni & Jouini (2017), que aplicaron la prueba de ADF y PP en niveles y primeras diferencias aceptando la hipótesis nula de no tener raíz unitaria con un orden de integración 1 en la energía renovable y las emisiones. Apergis, Jebli, & Youssef (2018); Zoundi (2017); Jebli & Youssef (2017); Dong,

Sun, & Hochman (2017); Boontome, Therdyothin, & Chontanawat (2017), emplearon las pruebas de LL, ADF, IPS y PP para varios grupos de países del continente africano, los BRIC y Tailandia, encontrando que la hipótesis nula de raíz unitaria no se rechaza en todas las series de niveles pero al aplicar las primeras diferencias las variables se vuelven estacionarias con un nivel de significancia del 1% con una integración de orden uno.

Tabla 4. Pruebas de raíz unitaria en niveles y en primeras diferencias)

		LL	UB	IPS	ADF	PP	LL	UB	IPS	ADF	PP
		Niveles					Primeras diferencias				
GLOBAL	EnRenov	-17.64*	6.31	-14.05*	-6.54*	-9.66*	-5.6e+03*	-9.67*	-14.05*	-12.49*	-46.54*
	GEI	-8.39*	7.32	-3.35*	-3.32*	-16.41*	-50.14*	-11.75*	-55.54*	-15.03*	-56.54*
PIEA	EnRenov	-1.64	0.58	0.73	-1.34	-3.51*	-5.1e+03*	-2.12*	-2.5e+03*	-2.80*	-9.51*
	GEI	-2.68*	0.39	-0.82	-1.93*	-1.46	-22.47*	-2.13	-10.78*	-2.15*	-9.79*
PIA	EnRenov	1.33	1.38	2.28	-0.86	-1.78*	-20.07*	-5.29*	-20.36*	-1.83*	-19.81*
	GEI	-2.68*	1.98	-0.48	-1.41	-3.22*	-21.01*	-5.71*	-21.68*	-4.27*	-20.21*
PIMA	EnRenov	-1.23	1.88	-0.77	-1.12	-3.24*	-14.39*	-1.82*	-14.78*	-3.05*	-13.23*
	GEI	-8.27*	2.49	-5.03*	-1.76*	-8.70*	-9.70*	-2.71*	-14.22*	-5.15*	-16.35*
PIMB	EnRenov	-2.17*	3.16	0.12	-3.63*	-4.26*	-18.52*	-2.15*	-18.36*	-7.03*	-17.06*
	GEI	-1.85*	3.34	-0.4	-1.51	-6.51*	-19.06*	-8.21*	-19.77*	-6.85*	-20.64*
PIB	EnRenov	-60.04*	3.55	-26.14*	-4.69*	-6.28*	-2.4e+02*	-5.90*	-62.51*	-7.59*	-28.71*
	GEI	-4.63*	4.98	-3.12*	-2.08*	-10.79*	-32.62*	-5.82*	-35.27*	-9.08*	-34.93*
PIEB	EnRenov	0.25	3.58	1.52	-3.04*	-4.21*	-18.74*	-7.10*	-19.20*	-6.61*	-20.01*
	GEI	-2.68*	3.15	0.93	-0.19	-7.26*	-22.47*	-6.14*	-25.89*	-7.24*	-28.03*

estadístico t en paréntesis * $p < 0,005$

Con el fin de determinar el equilibrio en el largo y corto plazo entre las variables, se utilizó técnicas de cointegración para datos de panel. Para determinar el equilibrio a largo plazo se empleó la prueba de cointegración de Pedroni (1999), que muestra un sondeo de la dimensión estadística obtenida por la sumatoria entre numeradores y denominadores a lo largo de la serie de forma independiente. La Tabla 5, indica los resultados de la prueba de cointegración, confirmando una relación en el largo plazo entre el con-

sumo de energía renovable y las emisiones de GEI, constando significancia estadística entre y dentro de las dimensiones de los paneles. De manera similar, Jin & Kim (2018); Jebli & Youssef (2017); Boontome, Therdyothin, & Chontanawat (2017) en sus estudios encontraron coeficientes estadísticamente significativos en sus coeficientes aseverando una relación de equilibrio en el largo plazo. Por lo tanto, la energía renovable contribuye a la mitigación de las emisiones contaminantes.

Tabla 5. Cointegración de Pedroni)

	GLOBAL	PIEA	PIMA	PIA	PIMB	PIB	PIEB
Within dimension test statistics							
Panel p-statistic	-28.01***	-6.57*	-14.06**	-7.14**	-8.46**	-20.19***	-10.48**
Panel PP-statistic	-46.56***	-8.85**	-22.68***	-12.96**	-16.95***	-34.17***	-14.76**
Panel ADF statistic	-33.14***	-7.75**	-17.41***	-10.30**	-10.95**	-26.38***	-12.35**
Between dimension test statistics							
Panel p-statistic	-19.15***	-4.88*	-10.20**	-4.74*	-5.45*	-14.86**	-6.43*
Group PP-statistic	-47.55***	-8.96**	-23.97***	-13.16**	-16.99***	-36.74***	-13.64**
Group ADF statistic	-28.17***	-4.83*	-16.59***	-9.40**	-9.52**	-23.06***	-9.23**

estadístico t en paréntesis * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

Después de comprobar el equilibrio a largo plazo, procedimos a verificar el equilibrio a corto plazo entre las variables, empleando un modelo de error vectorial con datos de panel (VECM) desarrollado por Westerlund (2007). La prueba de cointegración de Westerlund nos permite verificar la dependencia transversal de un modelo con dos parámetros autoregresivos. Los resultados tanto a nivel Global como por grupos de países tienen un P-value menor a 0,05,

siendo estadísticamente significativos y confirmando la existencia de un equilibrio a corto plazo, por lo tanto, un cambio en el consumo de energía renovable genera cambios en los gases de efecto invernadero, tal como lo indica la Tabla 6. Dichos resultados coinciden con los de Moutinho & Robaina (2016) y Dong, Sun, & Hochman (2017) quienes constataron una relación de cointegración entre la energía renovable y las emisiones en el corto plazo.

Tabla 6. Resultados de la prueba de cointegración Westerlund VECM)

	Statistic	Value	Z-value	P-value
GLOBAL	Gt	-35.69	-505.05	0
	Ga	-220.45	-381.42	0
	Pt	-1.40E+04	-1.70E+04	0
	Pa	-9.30E+03	-1.90E+04	0
PIEA	Gt	934.33	-2.60E+03	0
	Ga	-5.70E+03	-1.90E+03	0
	Pt	-9.80E+03	-1.10E+04	0
	Pa	-3.20E+04	-1.20E+04	0
PIA	Gt	-4.25	-11.31	0
	Ga	-29.73	-12.86	0
	Pt	-16.28	-7.16	0
	Pa	-13.49	-3.64	0
PIMA	Gt	-4.03	-7.23	0
	Ga	-26.93	-7.82	0
	Pt	-12.13	-5.61	0
	Pa	-17.69	-5.07	0
PIMB	Gt	-4.51	-12.32	0
	Ga	-29.08	-11.83	0
	Pt	-20.68	-12.82	0
	Pa	-28.37	-14.9	0
PIB	Gt	-4.27	-17.34	0
	Ga	-26.51	-16	0
	Pt	-27.84	-14.51	0
	Pa	-26.17	-20.99	0
PIEB	Gt	-4.24	-13.69	0
	Ga	-26.15	-12.49	0
	Pt	-12.99	-0.78	0.21
	Pa	-24.58	-15.25	0

Para medir la fuerza del vector de cointegración estimamos por mínimos cuadrados dinámicos (DOLS) el cual es paramétrico y establece una opción alternativa para obtener el estimador de panel OLS. Esta regresión fue desarrollada por Pedroni (2001) y es considerada como una de las técnicas más eficaces gracias a su veracidad en problemas de endogeneidad y correlación serial, además de tener mayor flexibilidad ante la presencia de heterogeneidad en la integración de vectores. La Tabla 7 indica los estimadores conseguidos por mínimos cuadrados dinámicos (DOLS) para todos los países y de forma individual. Encontramos que en la mayoría de países, la energía renovable tiene significancia estadística y los estimadores β están cerca de 1. Los resultados del modelo DOLS son similares al de Jebli & Youssef (2017) y Waheed et al. (2018), confirmando que el uso de energías renovables reduce las emisiones en el largo

plazo, debido a su menor grado de contaminación en comparación con la energía fósil. Convirtiendo a la energía renovable en un sustituto perfecto de las energías fósiles, ya que además de satisfacer la necesidad de energía a la sociedades contribuye al cuidado de la atmosfera (Zoundi, 2017).

Después de obtener la fuerza del vector de cointegración de los países de forma individual DOLS, se realiza por grupo de países haciendo una estimación de panel PDOLS con y sin variables de tiempo tal como lo muestra la Tabla 8, en donde se evidencia contundencia en la fuerza del vector de cointegración a nivel GLOBAL, PIEA, PIA, PIMA y PIB, demostrando una fuerte relación entre el consumo de energía renovable y los gases de efecto invernadero. Sin embargo, en PIEB la fuerza del vector de cointegración no es contundente, dado que el β_i no se acerca a 1.

Tabla 7. Resultados de modelo OLS para países individuales

País	PIEA		PIA		PIMA		PIMB		PIB		PIEB				
	WD	WOD	WD	WOD	WD	WOD	WD	WOD	WD	WOD	WD	WOD			
Denmark	-20.66*	-20.84*	4.15	1.57	Chile	2.46	-22.18	29.01	5.6	Albania	-36.95	-39.02	9.64	9.84	
Luxembourg	-10.4	-13.3	-32.39	-53.39	Austria	-57.19	-48.26	-2.26	2.01	Algeria	-9.1	-3.61	-10.25	-32.51	
Norway	5.36	-7.75	-4.02	-1.65	Belgium	3.88	-1.34	-8.49	-2.47	Angola	-38.91	-42.74	24.97	-1.7	
Switzerland	-9.02	10.88	4.81	-1.09	Canada	-37.42	-40.05	-29.39	22.25	Armenia	3.23	3.32	-8.48	-5.53	
United Arab	-12.78	0.25	3.67	-2.09	Cyprus	-10.48	-6.39	-59.58	-8.73	Azerbaijan	4.7	2.66	19.94	48.26	
			3.914	-25.64	Estonia	-5.97	-5.73	-171.6	20.68	Belarus	-3.91	-3.43	-2.06	-1.86	
			25.16	-40.43	Gabon	-8.65	-3.693	5.57	2.25	Belize	-19.91	-22.43	4.1	2.52	
			-3.95	39.12	Hungary	-3.84	-3.14	-1.63	-0.72	Bhutan	1.13	0.25	74.6	31.8	
			1.36	-11.42	Korea, Rep.	-8.22	-7.16	-15.72	-11.11	Bolivia	-5.17	-4.63	-15.96	-10.79	
			-1.65	-0.24	Lithuania	0.33	0.26	-0.07	0.71	Burkina Faso	17.01	26.95	1.64	-0.38	
			-1.87	-2.21	Malta	24.59	22.13	-3.91	0.69	Cameroon	10.65	8.67	-11.65	-14.06	
			-1.32	-8.11	Slovak Rep.	24.78	4.61	11.14	10.56	China	-12.42	-7.25	8.62	-78.38	
			2.43	-27.85	Venezuela, RB	2.478	4.61	26.47	19.94	Congo	-9.29	-10.72	India	-16.41	-61.9
			9.44	-9.99				15.27	-0.23	Cuba	58.51	47.11	Kenya	-18.27	-13.29
			-4.39	-9.66				0.81	-1.86	Djibouti	34.51	44.46	Kyrgyz Republic	-15.62	-22.6
			58.34	13.95				4.32	-0.03	Ecuador	8.57	-5.74	Liberia	-1.66	-5.56
			-1.21	-18.9				3.6	6.75	Egypt, Arab	-11.83	-7.16	Madagascar	-7.66	-8.37
			-7.48	-142.6				14.09	-18.4	El Salvador	12.74	55.66	Malawi	12.29	-1.26
			22.47	-9.72				8.29	8	Fiji	11.24	5.92	Mali	0.73	-1.23
			-6.67	-16.1				-4.23	13.17	Georgia	-29.89	-32.09	Mozambique	1.45	0.35
			-68.52	-70.36				-83.71	-97.07	Ghana	4.48	3.2	Myanmar	0.76	1.43
			-1.126	-2.356						Guatemala	-0.9	0.02	Nepal	-8.22	-18.12
			22.97	-8.42						Guyana	0.18	0.25	Niger	-28.39	22.59
										Honduras	6.95	30.82	Pakistan	-5.79	-15.12
										Indonesia	-2.26	-0.78	Rwanda	15.3	3.37
										Iran, Islamic	-12.1	5.38	Senegal	-8.61	-8.02
										Iraq	-22.18	-11.55	Sierra Leone	-2.65	-1.67
										Jamaica	-39.33	-76.45	Sri Lanka	-8.66	-3.58
										Jordan	-13.29	-1.73	Tajikistan	-14.39	-23.68
										Kiribati	11.6	0.17	Tanzania	6.88	3.13
										Macedonia	5.7	15	Togo	-47.29	12.73
										Mauritania	57.13	63.79	Uganda	-2.56	0.8
										Moldova	-5.57	-5.32	Vietnam	-15	-2.57
										Monrovia	-2.87	-2.37	Zimbabwe	-41.53	-15.46
										Morocco	-20.17	-6.12			
										Namibia	1.25	0.12			
										Nicaragua	-19.83	-14.3			
										Nigeria	-5.85	-9.59			
										New Guinea	-0.98	-0.66			
										Paraguay	5.57	6.87			
										Peru	-16.1	-8.24			
										Philippines	-25.74	-19.44			
										Solomon Islands	83.58	-1.95			
										Sri Lanka	-51.6	4.26			
										Sudan	5.46	4.32			
										Sweden	-11.84	-11.12			
										Thailand	-31.31	-21.73			
										Tonga	-4.2	1.68			
										Tunisia	-2.43	15.37			
										Ukraine	0.24	1.66			
										Uzbekistan	-15.8	-2.82			
										Yemen, Rep.	-5.35	-1.1			
										Zambia	1.33	-1.33			

estadístico t en paréntesis * p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001

Tabla 8. Resultados del modelo PDOLS para grupos de países

Grupos	With time dummy		Without time dummy	
	β_i	P-value	β_i	P-value
(I)2-5				
GLOBAL	-6.79**	-13.61	-8.09**	-9.96
PIEA	-9.50*	-2.4	-6.15*	-1.34
PIA	-3.43	-0.91	-19.47**	-8.23
PIMA	-6.31*	-3.37	-12.01**	-5.75
PIMB	-12.48	0.02	-1.33*	1.25
PIB	-4.68**	-5.59	-6.09**	-4.59
PIEB	-0.68	-1.77	-6.58**	-5.33

estadístico t en paréntesis * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

Finalmente, verificamos la causalidad entre variables según la causalidad de Granger calculada sobre la base de la prueba propuesta por Dumitrescu & Hurlin (2012). En la Tabla 9 se puede observar que en PIEB el consumo de energía causa a los gases de efecto

invernadero, además a nivel GLOBAL y PIB los GEI causan al consumo de energía renovable confirmando una causalidad unidireccional. En los demás grupos de países no hay causalidad unidireccional ni bidireccional.

Tabla 9. Resultados de la prueba de causalidad basada en Dumitrescu & Hurlin

Dirección causal	Grupo	W-bar	Z-value	P-value
EnRenov → LGEI	GLOBAL	1.13	1.19	0.23
	PIEA	1.24	0.38	0.70
	PIA	0.83	-0.55	0.58
	PIMA	0.63	-0.89	0.37
	PIMB	0.96	-0.1	0.91
	PIB	1.06	0.35	0.72
	PIEB	1.72	2.97	0
LGEI → EnRenov	GLOBAL	1.22	1.91	0.05
	PIEA	0.37	-0.99	0.32
	PIA	1.18	0.63	0.52
	PIMA	1.04	0.1	0.91
	PIMB	1.07	0.24	0.80
	PIB	1.59	3.07	0
	PIEB	0.94	-0.23	0.81

5 | CONCLUSIONES

En la presente investigación la prueba de cointegración de Pedroni (1999) y Westerlund (2007) determinaron la presencia de una relación de equilibrio en el largo y corto plazo con un efecto negativo significativo entre las variables analizadas, el método PDOLS y DOLS confirmaron fuerza del vector de cointegración por país y grupos de países. Los resultados de la prueba de causalidad de Dumitrescu & Hurlin (2012) confirmaron una causalidad unidireccional ya que en los países con ingresos extremadamente bajos el consumo de energía causa a los gases de efecto invernadero tanto a nivel global como en los países con ingresos bajos. Las emisiones de GEI causan al consumo de energía renovable. Una implicación de política derivada de esta investigación es implementar políticas orientadas a reducir las emisiones de GEI reemplazando las fuentes de energía fósil con fuentes de energía renovable e incentivar al sector público y privado a invertir en la utilización de este tipo de energías limpias.

Referencias bibliográficas

- [1] Ali, Y., Ciaschini, M., Socci, C., Pretaroli, R., & Severini, F. (2017). An analysis of CO2 emissions in Italy through the Macro Multiplier (MM) approach. *Journal of Cleaner Production*, 149, 238-250.
- [2] Ahiduzzaman, M., & Islam, A. S. (2011). Greenhouse gas emission and renewable energy sources for sustainable development in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4659-4666.
- [3] Aized, T., Shahid, M., Bhatti, A. A., Saleem, M., & Anandarajah, G. (2018). Energy security and renewable energy policy analysis of Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 84, 155-169.
- [4] Amponsah, N. Y., Troldborg, M., Kington, B., Aalders, I., & Hough, R. L. (2014). Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 461-475.
- [5] Anders, S., Kim, J. D., Silva-Send, N., Gordon, C., & Gu, Y. (2015). Splitting the Electric Emissions Baby: Allocating Greenhouse Gas Reductions between Efficiency and Renewable Energy Policies. *The Electricity Journal*, 28(8), 29-42.
- [6] Ang, J. B. (2007). CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778.
- [7] Apergis, N., Jebli, M. B., & Youssef, S. B. (2018). Does renewable energy consumption and health expenditures decrease carbon dioxide emissions? Evidence for sub-Saharan Africa countries. *Renewable Energy*, 127, 1011-1016.

- [8] Baah-Acheamfour, M., Carlyle, CN, Lim, SS, Bork, EW & Chang, SX (2016). Los tipos de cobertura forestal y de pastizales reducen las emisiones netas de gases de efecto invernadero de los suelos agrícolas. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 571, 1115-1127.
- [9] Benedek, J., Sebestyén, T. T., & Bartók, B. (2018). Evaluation of renewable energy sources in peripheral areas and renewable energy-based rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 516-535.
- [10] Boontome, P., Therdyothin, A., & Chontanawat, J. (2017). Investigating the causal relationship between non-renewable and renewable energy consumption, CO 2 emissions and economic growth in Thailand. *Energy Procedia*, 138, 925-930.
- [11] Breitung, J. (2002). Nonparametric tests for unit roots and cointegración. *Journal of Econometrics*, 108(2), 343-363.
- [12] Cherni, A., & Jouini, S. E. (2017). An ARDL approach to the CO2 emissions, renewable energy and economic growth nexus: Tunisian evidence. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(48), 29056-29066.
- [13] Chuang, J., Lien, H. L., Den, W., Iskandar, L., & Liao, P. H. (2018). The Relationship Between Electricity Emission Factor and Renewable Energy Certificate: The Free Rider and Outsider Effect. *Sustainable Environment Research*, 29, 138-147.
- [14] Dickey, D., Fuller, W. A., 1981. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49, 1057-1072.
- [15] Dong, K., Sun, R., & Hochman, G. (2017). Do natural gas and renewable energy consumption lead to less CO2 emission? Empirical evidence from a panel of BRICS countries. *Energy*, 141, 1466-1478.
- [16] Farhani, S., Chaibi, A., & Rault, C. (2014). CO 2 emissions, output, energy consumption, and trade in Tunisia. *Economic Modelling*, 38, 426-434.
- [17] Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1251-1271.
- [18] Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nabavi-Pelesaraei, A., Khanali, M., Ghahderijani, M., & Chau, K. W. (2018). Application of data envelopment analysis approach for optimization of energy use and reduction of greenhouse gas emission in peanut production of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1327-1335.
- [19] Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.
- [20] 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.
- [21] Jebli, M. B., & Youssef, S. B. (2017). The role of renewable energy and agriculture in reducing CO2 emissions: Evidence for North Africa countries. *Ecological indicators*, 74, 295-301.
- [22] Jin, T., & Kim, J. (2018). What is better for mitigating carbon emissions—Renewable energy or nuclear energy? A panel data analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 464-471.
- [23] Juana de Sardón, J. M. (2003). Energías renovables para el desarrollo. *Editorial Paraninfo*
- [24] Kais, S., & Sami, H. (2016). An econometric study of the impact of economic growth and energy use on carbon emissions: panel data evidence from fifty eight countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1101-1110.
- [25] Kasman, A., & 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.
- [26] Kim, J., Park, S. Y., & Lee, J. (2018). Do people really want renewable energy? Who wants renewable energy?: Discrete choice model of reference-dependent preference in South Korea. *Energy Policy*.
- [27] Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, 45(1), 1-28.
- [28] Khondaker, A. N., Hasan, M. A., Rahman, S. M., Malik, K., Shafullah, M., & Muhyedeen, M. A. (2016). Greenhouse gas emissions from energy sector in the United Arab Emirates—An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1317-1325.
- [29] Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24.
- [30] Li, K., & Lin, B. (2015). Impacts of urbanization and industrialization on energy consumption/CO 2 emissions: Does the level of development matter? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1107-1122.
- [31] Liobikienė, G., & Butkus, M. (2017). Environmental Kuznets Curve of greenhouse gas emissions including technological progress and substitution effects. *Energy*, 135, 237-248.
- [32] Mittal, S., Dai, H., Fujimori, S., & Masui, T. (2016). Bridging greenhouse gas emissions and renewable energy deployment target: comparative assessment of China and India. *Applied energy*, 166, 301-313.
- [33] Mirza, F. M., & Kanwal, A. (2017). Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Pakistan: Dynamic causality analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1233.
- [34] Mohlin, K., Camuzeaux, J. R., Muller, A., Schneider, M., & Wagner, G. (2018). Factoring in the forgotten role of renewables in CO 2 emission trends using decomposition analysis. *Energy Policy*, 116, 290-296.
- [35] Moreno, J. R., Ortiz, J. D. C., de Vega, R. G., & Caro, G. V. (2006). Estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano mediante modelos de asignación de tráfico. In X Congreso de Ingeniería de Organización.
- [36] Moutinho, V., & Robaina, M. (2016). Is the share of renewable energy sources determining the CO2 kWh and income relation in electricity generation? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 902-914.
- [37] Nikzad, R., & Sedigh, G. (2017). Greenhouse gas emissions and green technologies in Canada. *Environmental Development*, 24, 99-108.

- [38] Nordenstam, L., Ilic, D. D., & Ödlund, L. (2018). Corporate greenhouse gas inventories, guarantees of origin and combined heat and power production—Analysis of impacts on total carbon dioxide emissions. *Journal of Cleaner Production*, 186, 203-214.
- [39] Oehmichen, K., & Thrän, D. (2017). Fostering renewable energy provision from manure in Germany Where to implement GHG emission reduction incentives. *Energy policy*, 110, 471-477.
- [40] Pao, H. T., & Tsai, C. M. (2011). Multivariate Granger causality between CO2 emissions, Energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries. *Energy*, 36(1), 685-693.
- [41] Paramati, S. R., Mo, D., & Gupta, R. (2017). The effects of stock market growth and renewable energy use on CO2 emissions: evidence from G20 countries. *Energy Economics*, 36(1), 66, 360-371.
- [42] Park, J., & Hong, T. (2013). Analysis of South Korea's economic growth, carbon dioxide emission, and energy consumption using the Markov switching model.
- [43] Pata, U. K. (2018). Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO2 emissions in Turkey: Testing EKC hypothesis with structural breaks. *Journal of Cleaner Production*, 36(1), 187, 770-779.
- [44] Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 653-670.
- [45] Pedroni, P. (2001). Purchasing power parity tests in cointegrated panels. *Review of Economics and Statistics*, 83(4), 727-731.
- [46] Phillips, P., Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75, 335-346.
- [47] Poumanyong, P., & Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2), 434-444.
- [48] Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). Environmental degradation, economic growth and energy consumption: Evidence of the environmental Kuznets curve in Malaysia. *Energy Policy*, 60, 892-90.
- [49] Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries: a cointegration approach. *Energy*, 55, 813-822.
- [50] Salahuddin, M., & Gow, J. (2014). Economic growth, energy consumption and CO 2 emissions in Gulf Cooperation Council countries. *Energy*, 73, 44-58.
- [51] Sarango, D. (2018). Análisis de la relación entre el consumo de energía y las emisiones de carbono en Ecuador. *Revista Vista Económica*, 35-48.
- [52] Şener, Ş. E. C., Sharp, J. L., & Anctil, A. (2017). Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 335-346.
- [53] Soytaş, U., & Sari, R. (2007). The relationship between energy and production: evidence from Turkish manufacturing industry. *Energy Economics*, 29(6), 1151-1165.
- [54] Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 275-291.
- [55] Thitanuwat, B., Polprasert, C., & Englande Jr, A. J. (2017). Green residues from Bangkok green space for renewable energy recovery, phosphorus recycling and greenhouse gases emission reduction. *Waste management*, 61, 572-581.
- [56] Tillaguango, B., & Loaiza, V. (2019). Efecto causal de la energía sustentable y no sustentable en el crecimiento económico: nueva evidencia empírica global por grupos de países. *Revista Vista Económica*, 6(1), 37-48.
- [57] Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., & Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4231-4238.
- [58] Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709-748.
- [59] World Bank, 2018. World Development Indicators. Washington D.C. Available on. <https://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>.
- [60] Xiangzhao, F., & Ji, Z. (2008). Economic analysis of CO2 emission trends in China. *China Population, Resources and Environment*, 18(3), 43-47.
- [61] Zoundi, Z. (2017). CO2 emissions, renewable energy and the Environmental Kuznets Curve, a panel cointegration approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1067-1075. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 543-551
- [62] Pata, U. K. (2018). Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO2 emissions in Turkey: Testing EKC hypothesis with structural breaks. *Journal of Cleaner Production*, 36(1), 187, 770-779.
- [63] Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 653-670.
- [64] Pedroni, P. (2001). Purchasing power parity tests in cointegrated panels. *Review of Economics and Statistics*, 83(4), 727-731.
- [65] Phillips, P., Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75, 335-346.
- [66] Poumanyong, P., & Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2), 434-444.
- [67] Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). Environmental degradation, economic growth and energy consumption: Evidence of the environmental Kuznets curve in Malaysia. *Energy Policy*, 60, 892-90.
- [68] Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries: a cointegration approach. *Energy*, 55, 813-822.

- [69] Salahuddin, M., & Gow, J. (2014). Economic growth, energy consumption and CO₂ emissions in Gulf Cooperation Council countries. *Energy*, 73, 44-58.
- [70] Sarango, D. (2018). Análisis de la relación entre el consumo de energía y las emisiones de carbono en Ecuador. *Revista Vista Económica*, 35-48.
- [71] Şener, Ş. E. C., Sharp, J. L., & Anctil, A. (2017). Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 335-346.
- [72] Soytaş, U., & Sari, R. (2007). The relationship between energy and production: evidence from Turkish manufacturing industry. *Energy Economics*, 29(6), 1151-1165.
- [73] Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 275-291.
- [74] Thitanuwat, B., Polprasert, C., & Englande Jr, A. J. (2017). Green residues from Bangkok green space for renewable energy recovery, phosphorus recycling and greenhouse gases emission reduction. *Waste management*, 61, 572-581.
- [75] Tillaguango, B., & Loaiza, V. (2019). Efecto causal de la energía sustentable y no sustentable en el crecimiento económico: nueva evidencia empírica global por grupos de países. *Revista Vista Económica*, 6(1), 37-48.
- [76] Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., & Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO₂ emission. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4231-4238.
- [77] Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709-748.
- [78] World Bank, 2018. *World Development Indicators*. Washington D.C. Available on. <https://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>.
- [79] Xiangzhao, F., & Ji, Z. (2008). Economic analysis of CO₂ emission trends in China. *China Population, Resources and Environment*, 18(3), 43-47.
- [80] Zoundi, Z. (2017). CO₂ emissions, renewable energy and the Environmental Kuznets Curve, a panel cointegration approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1067-1075.