

Emisiones de CO₂, urbanización, consumo de energía eléctrica y capital humano, un análisis de cointegración para datos de panel a nivel mundial período 1986 - 2016

Alejandro Ramos ¹ Belén Jumbo ²

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

Fecha de recepción: Febrero 2018. Fecha de aceptación: Junio 2018

Resumen

El objetivo de esta investigación es examinar el nexo causal entre las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂, urbanización, consumo de energía eléctrica y capital humano de 114 países a nivel mundial. Los países fueron clasificados en 4 grupos, de acuerdo a su nivel de ingreso per cápita promedio. El período de estudio comprende 1986-2016. Se analizaron técnicas de cointegración de Pedroni (1999), corrección de error de Westerlund (2007) y de causalidad Dumitrescu & Hurlin (2012) para evaluar la relación entre las variables. Para evaluar la fuerza del vector de cointegración en el corto y largo plazo se considera el método de mínimos cuadrados ordinarios de panel dinámico para los países en forma individual y el modelo de mínimos cuadrados ordinarios dinámicos para los grupos de países. Los resultados de la prueba de causalidad indican que existe causalidad unidireccional entre la urbanización y las emisiones de CO₂ en los EILC. El consumo de energía causa unidireccionalmente a las emisiones de CO₂ en los HIC. Las emisiones de CO₂ causan unidireccionalmente al capital humano a nivel global. Existe una causalidad bidireccional entre las emisiones de CO₂ y el capital humano en los HIC. Finalmente hay una causalidad unidireccional entre el capital humano y las emisiones de CO₂ en los ELIC. Una posible implicación de política derivada de esta investigación es que los países deben considerar el mejoramiento de la estructura de la industria junto con una mayor eficiencia en el uso de la energía y un consumo mesurado de la misma, además de aumentar la participación de las energías renovables para mitigar las emisiones de CO₂.

Palabras clave: Datos de panel; Contaminación; Urbanización; Consumo de energía; Capital humano

Códigos JEL: D31.E24. J15

CO₂ emissions, urbanization, consumption of electricity and human capital, a cointegration analysis for panel data worldwide from 1986 to 2016

Abstract

The objective of this research is to examine the causal link between the growth rates of CO₂ emissions, urbanization, electricity consumption and human capital in 114 countries worldwide. The countries were classified into 4 groups, according to their average level of per capita income. The study period covers 1986-2016. Cointegration techniques by Pedroni (1999), correction of error by Westerlund (2007) and causality Dumitrescu & Hurlin (2012) were analyzed to evaluate the relationship between the variables. To evaluate the strength of the cointegration vector in the short and long term, we consider the dynamic panel ordinary least squares method for individual countries and the dynamic ordinary least squares model for groups of countries. The results of the causality test indicate that there is one-way causality between urbanization and CO₂ emissions in EILCs. Energy consumption unidirectionally causes CO₂ emissions in HICs. CO₂ emissions unidirectionally cause human capital globally. There is a two-way causality between CO₂ emissions and human capital in HICs. Finally, there is a one-way causality between human capital and CO₂ emissions in ELICs. A possible policy implication derived from this research is that countries should consider improving the structure of the industry together with greater efficiency in the use of energy and a measured consumption of it, in addition to increasing the participation of renewable energies to mitigate CO₂ emissions.

keywords: Panel data; Pollution; Urbanization; Energy consumption; Human capital;

JEL codes: C23. Q5. O18. Q4. J24.

¹Autor: Alejandro Ramos. Universidad Nacional de Loja. La Argelia. Correo electrónico: ramos@unl.edu.ec

²Coautor: Belén Jumbo. Universidad Nacional de Loja. La Argelia. Correo electrónico: maria.bjumbo@unl.edu.ec

1. Introducción

El cambio climático y su relación con las emisiones de gases de efecto invernadero es un tema coyuntural que afecta a nivel mundial. De acuerdo a los datos del Banco Mundial (2018) las emisiones de dióxido de carbono per cápita CO₂ en el año 2014 fueron de 4,97 toneladas métricas per cápita siendo un aumento considerable en la última década. Luego, entre 2014 y 2016, las emisiones se estancaron mientras crecía el PIB mundial. Sin embargo, aquella tendencia no se consolidó. Y en 2017 volvieron a crecer un 1,6%. Para el año 2018, los investigadores del *Global Carbon Project* apuntan a que se confirma el fin de ese espejismo: este año esas emisiones de CO₂ crecieron alrededor del 2,7%, hasta llegar a las 37,1 gigatoneladas, lo que supone un récord nunca visto en la historia de la humanidad.

En cuanto a la demanda mundial de energía eléctrica, según la Agencia Internacional de Energía, la demanda de energía en todo el mundo creció un 2,3% el año pasado, su ritmo más rápido en esta década, la energía eléctrica continúa posicionándose como el "combustible" del futuro, con un aumento de la demanda mundial de electricidad del 4% en 2018 a más de 23 000 TWh. Este rápido crecimiento está empujando a la electricidad hacia una participación del 20% en el consumo final total de energía.

El crecimiento poblacional y por consecuencia el aumento de la urbanización en las economías modernas es un tema de relevancia a la hora de analizar factores ambientales, tanto en las economías en desarrollo como en las desarrolladas, el aumento de la población condiciona un desplazamiento importante hacia las ciudades en las cuales se ven concentradas las instituciones e industrias que los sectores rurales de la población buscan para satisfacer y complementar su situación social y económica.

La urbanización como un proceso común en la actualidad que busca la expansión y creación de áreas urbanas desencadena un aumento del uso de los recursos energéticos lo que a su vez provoca un deterioro de la calidad del ambiente al verse aumentadas las emisiones de CO₂. Tanto la urbanización como el consumo de energía eléctrica y el aumento del capital humano tienen una relación positiva en el aumento de las emisiones de CO₂. El cambio climático y el calentamiento global como amenazas clave para las sociedades humanas están esencialmente asociados al consumo de energía y a las emisiones de CO₂ (Mirzaeia & Bekri 2017). Sin embargo este hecho no puede considerarse una desventaja neta, la urbanización es en parte un determinante de la disminución de la desigualdad e integración social y económica, el sector de la población que migra de las áreas rurales hacia las ciudades experimenta una integración con el sistema de educación, de salud, mejorando así su calidad de vida. Por otra parte el progreso tecnológico atañe primordialmente al sector urbano de una sociedad mejorando su nivel de telecomunicaciones y de productividad aumentando su crecimiento y desarrollo económico.

En este contexto, el objetivo de esta investigación es examinar el nexo causal entre las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂, urbanización, consumo de energía eléctrica y capital humano en 114 países a nivel mundial durante el período 1986-2016. Para lo cual se aplicó técnicas de cointegración econométricas modernas de datos de panel. En primer lugar se planteó un modelo de regresión mediante Mínimos Cuadrados Generalizados (GLS) en datos de panel para verificar la dirección de la relación entre las variables. En segundo lugar se realizó el test de raíz unitaria tipo Fisher basado en las pruebas de Dickey & Fuller (1981) y Philips & Perron (1988).

Los resultados obtenidos con estas pruebas son contrastadas con los resultados obtenidos mediante las pruebas Levine, Lin & Chu (2002), Im, Pesaran & Shin (2003) y Breitung (2000). En Tercer lugar se utilizó el modelo de cointegración de Pedroni (1999) para determinar el equilibrio de largo plazo y el modelo de corrección de Westerlund (2007)

para encontrar el equilibrio de corto plazo entre las parejas de variables. En cuarto lugar se estimó un modelo de mínimos cuadrados ordinarios dinámicos (DOLS) para obtener la fuerza del vector de cointegración de manera individual para los países. Para medir la fuerza del vector de cointegración para los grupos de países se estimó un modelo de mínimos cuadrados ordinarios dinámicos (PDOLS).

Las estimaciones del modelo GLS muestran que a nivel global la urbanización, el consumo de energía eléctrica tienen un efecto positivo en las emisiones de CO₂, siendo estadísticamente significativos, mientras que el capital humano tiene un efecto positivo pero no es estadísticamente significativo. Mientras que en los grupos de países LIC la urbanización tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo en las emisiones de CO₂. En los ELIC, MLIC, MHIC y HIC el consumo de energía eléctrica tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo en las emisiones de CO₂. Mediante la prueba de cointegración de Pedroni (1999) y de Westerlund (2007) encontramos que existe una relación de equilibrio de largo y corto plazo a nivel global y en todos los grupos de países. Los resultados de la presente investigación ofrecen tres aportes a la literatura previa. En primer lugar se realizó una nueva clasificación de ingresos per cápita de los países de estudio tomando en cuenta un escenario en el que la brecha de ingresos per cápita no sea tan alta entre países.

En segundo lugar se encontró que existe una relación de equilibrio en el corto y largo plazo entre las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂, urbanización, consumo de energía eléctrica y capital humano. En tercer lugar se encontró una relación de causalidad unidireccional entre el capital humano y las emisiones de CO₂ en los PIB. Una posible implicación de política derivada de esta investigación es que los países deben considerar el mejoramiento de la estructura de la industria junto con una mayor eficiencia en el uso de la energía y un consumo medido de la misma, además de aumentar la participación de las energías renovables para mitigar las emisiones de CO₂.

El resto de la investigación presenta la siguiente estructura. La segunda sección contiene la revisión de literatura previa sobre el nexo entre las variables de estudio. La tercera sección describe las fuentes estadísticas y la metodología econométrica empleada. La cuarta sección reporta los resultados de cointegración a corto y largo plazo, la fuerza de cointegración y la causalidad entre las variables. La quinta sección contiene las conclusiones de la investigación y las posibles implicaciones de política.

2. Revisión y literatura previa

Existen diversidad de estudios que investigan el nexo causal entre las emisiones de CO₂, la urbanización y el consumo de energía. La metodología más tradicional para los casos de estudio de un país es el enfoque de cointegración de Johansen (1991), el método ARD desarrollado por Pesaran & Shin (1998), Pesaran, Shin & Smith (2001). Mientras que los casos de estudio con datos de panel y causalidad tipo Granger se suele usar el enfoque de cointegración de Pedroni (1999) y el modelo de causalidad formalizado por Dumitrescu & Hurlin (2012).

En primer lugar se abarcan los estudios que relacionan las emisiones de CO₂ y la urbanización. La teoría tradicional contempla una relación positiva entre el aumento de la tasa de urbanización y las emisiones de CO₂. Los resultados empíricos muestran que el aumento de la urbanización aumenta las emisiones de CO₂ (Behera & Dash, 2017; Rafiq, Salim & Nielsen, 2016; Wang, Wu, Zeng & Wu, 2016; Wang, Li & Fang, 2017; Wang & Zhao, 2018; Wang, Chen & Kubota, 2016; Wu, Shena, Zhan, Skitmore & Lu 2016; Adom, Kwakwa & Amankwaa, 2018; Xu, He & Long, 2014; Wang, Wu, Zhu & Wei, 2013; Wang, Chen, Kang, Lic & Guo, 2018; Ahmed & Long, 2012; Poumanyvon & Kaneco, 2010; Franco, Mandla & Rao, 2017; Ouyang & Lin, 2017).

Xu et al. (2014) mencionan que el principal impulsor de las emisiones de carbono es el efecto del producto económico, seguido de la escala de población y los efectos de la estructura energética. Behera & Dash (2017) encuentran que para los países del sur y sudeste asiático existe cointegración entre la urbanización y las emisiones de CO₂ independientemente de sus niveles de ingreso. Rafic et al. (2016) encuentran que la urbanización aumenta significativamente la intensidad energética pero es insignificante en el aumento de las emisiones en las economías emergentes, aluden esto a la tendencia creciente en la adopción de tecnologías más limpias. En los países de ingresos altos como China donde el sector industrial es uno de los más grandes a nivel mundial existe una relación positiva (Wang et al. 2016). Wang & Zhao (2018) encuentran que la parte de la industria secundaria en la economía tiene una relación positiva con las emisiones de CO₂, mientras que la parte de la industria terciaria tiene un impacto negativo en las emisiones de CO₂. Kasman & Duman (2015) encuentran causalidad unidireccional a corto plazo entre las emisiones de carbono y la urbanización en los países de la Unión Europea.

Raggad (2018) señala que el proceso de urbanización no influye significativamente en el aumento de las emisiones de CO₂ en países de ingresos altos como Arabia Saudita, la urbanización tiene un impacto negativo y significativo sobre las emisiones de carbono, aduciendo que el desarrollo urbano no es un obstáculo para la mejora de la calidad ambiental. La evidencia empírica de una curva de Kuznets en forma de U invertida entre emisiones de CO₂ e ingresos y entre urbanización y emisiones de CO₂ tanto a corto como a largo plazo es apoyada por varios autores (Zarzoso & Maruotti, 2011; Ahmed & Long, 2012; Kasmana & Duman, 2015; Shahbaz, Loganathan, Muzaffar, Ahmed & Jabran, 2016; Alam, Murad, Noman & Ozturk, 2017; Zhang, Yu & Chen, 2017). Las emisiones de CO₂ urbanas siguen teniendo un alto impacto en aquellos países que mantienen un sistema tradicional de sus actividades como el transporte y su gran dependencia de combustibles fósiles. Mitigar este problema requerirá generar un desarrollo sostenible mediante estrategias que involucren el cambio de la matriz energética de fuentes renovables.

En segundo lugar se abarcan los estudios que relacionan las emisiones de CO₂ y el consumo de energía, la evidencia empírica sugiere que existe una relación positiva entre el consumo de energía y las emisiones de CO₂ (Kasmana & Duman, 2015; Ahmed, Rehman & Ozturk, 2017; Behera & Dash, 2017; Wang et al. 2015; Wu et al. 2016; Shahbaz et al. 2016). A nivel mundial esta relación varía de acuerdo a regiones. Acheampong (2018) encuentra que el consumo de energía causa emisiones de carbono en Oriente Medio y el Norte de África, pero las emisiones de carbono son negativas en África subsahariana y el Caribe-América Latina. En contraparte con la teoría general algunos autores mencionan que el consumo de energía de fuentes renovables reduce las emisiones de CO₂.

Ito (2017) encuentra que el consumo de energía renovable contribuye a la reducción de las emisiones a la vez que también tiene un efecto positivo en el crecimiento económico a largo plazo para economías en desarrollo. Cai, Sam & Chang (2018) encuentran que no hay una cointegración entre el consumo de energía limpia y las emisiones de CO₂ en Canadá, Francia, Italia, los Estados Unidos y el Reino Unido, esta cointegración existe en Alemania cuando las emisiones de CO₂ sirven como variables dependientes y en Japón cuando las emisiones de CO₂ son la variable dependiente y los resultados de causalidad indican que las emisiones de CO₂ causan el consumo de energía limpia para Alemania.

El aumento de la degradación ambiental tiene más impacto en aquellos países asiáticos cuya matriz industrial y población es muy alta (Ahmed et al. 2017; Behera & Dash, 2017; Wang et al. 2015). Ahmed et al. (2017) encuentran que el consumo de energía aumenta la degradación ambiental verificando a la vez la existencia de una curva de Kuznets am-

biental para cinco economías de Asia, también encuentran que existe una relación de causalidad unidireccional entre el consumo de energía y la urbanización. Behera & Dash (2017) al incorporar el consumo de energía de combustibles fósiles en lugar del consumo de energía primaria encuentran que existe una relación de cointegración entre el consumo de energía de combustibles, la urbanización y las emisiones de CO₂.

Para países como China, en donde el proceso de urbanización crece en paralelo junto al consumo de energía lo que provoca un aumento de las emisiones de CO₂ (Wang et al. 2016; Ding & Li, 2017; Wang et al. 2018). En Malasya además de que el crecimiento económico contribuye a las emisiones de CO₂, el aumento del consumo de energía aumenta esta intensidad Shahbaz et al. (2016). Ding & Li (2017) muestran que los factores de desarrollo económico son los principales impulsores de las emisiones regionales de dióxido de carbono, en comparación con los factores de cambio estructural, intensidad energética y transición social.

Salahuddina, Alam, Ozturk & Sohag (2017) encuentran la existencia de cointegración entre las series y que por lo tanto el crecimiento económico, el consumo de electricidad y la IED estimulan las emisiones de CO₂ tanto a corto como a largo plazo en Kuwait. La relación entre el consumo de energía y las emisiones de CO₂ en los países con una matriz de producción basada en la manufactura y la producción de energía tiende a ser positiva, la reducción de las emisiones de CO₂ en estos países se ve opacada básicamente porque su economía depende en gran medida de las plantas de fabricación de las empresas multinacionales y de la combustión de minerales para la obtención de energía.

El tercer grupo de estudios abarca la evidencia empírica que relaciona las emisiones de CO₂ y la educación, algunos autores sostienen que de acuerdo al nivel de educación el medio ambiente se puede ver afectado negativamente. Klein- Banaia & Theis (2013) encuentran que las emisiones de gases de efecto invernadero de las instituciones pertenecientes al Compromiso Climático de los Presidentes de los Colegios y Universidades Americanas (ACUPCC) estaban en función del tamaño de la institución (medido por el número de estudiantes matriculados a tiempo completo y el área de construcción), la cantidad de espacio de laboratorio y residencial, si existe una escuela de medicina, y el grado de desplazamiento al campus por parte de la facultad, el personal y los estudiante.

Robinson, Kemp & Williams (2015) señalan que las emisiones de dióxido de carbono del sector de la educación superior son significativas a nivel mundial. En China Li, Tan & Rackes (2015) encuentran que la huella de carbono media de los estudiantes, incluyendo la energía y el transporte directos e indirectos, pero no los impactos del consumo aguas fue relativamente baja. Versteijlen, Salgado, Groesbeek & Counotte (2017) señalan que la contribución al aumento de las emisiones por parte del sector de la educación está relacionada con el transporte que usan los estudiantes y está contribución es muy alta en Estados Unidos y Reino Unido. Balaguer & Cantavella (2018) encuentran que la expansión de la tasa de educación ha compensado cada vez más el aumento de las emisiones de CO₂ per cápita derivadas del crecimiento económico, además de que sólo en los últimos años se ha demostrado que tanto el ingreso per cápita como la expansión de la educación reducen las emisiones.

3. Datos y metodología

3.1. Datos

En la presente investigación se utilizó indicadores de desarrollo de del Banco Mundial (2017), los datos de educación los obtuve de la base de datos de logros educativos de Barro-Lee (2016) para 114 países a nivel mundial en el periodo 1986-2016 con datos de panel. Se tomó como variable dependiente las emisiones de CO₂, mientras que como variables

independientes la urbanización como porcentaje de la población total, el consumo de energía eléctrica per cápita y capital humano tomado como el nivel de educación, a continuación se obtuvieron las tasas de crecimiento de cada variable. El período analizado en esta investigación es de 1986-2016 para 114 países, los países fueron clasificados de acuerdo a si nivel de ingreso per cápita promedio comprendido en el periodo estudiado.

Los países de ingresos extremadamente bajos (ELIC) son: Bangladesh, Benín, Cambodia, R D Congo, Haití, India, Kenia, Kirguistán, Mozambique, Myanmar, Nepal, Pakistán, Senegal, Tayikistán, Tanzania, Togo y Vietnam, cuyos ingresos per cápita promedio son menores a \$1,000 dólares. Los países de ingresos bajos (LIC) son: Albania, Armenia, Bolivia, Camerún, China, R. Congo, Costa de Marfil, Egipto, El Salvador, Ghana, Guatemala, Honduras, Indonesia, Moldova, Marruecos, Nicaragua. Paraguay, Filipinas, Sri Lanka, Sudán, Ucrania, R. Yemen, Zambia y Zimbabue, cuyos ingresos per cápita promedio están comprendidos entre \$1.001 y \$3.000 dólares. Los países de ingre-

sos medios bajos (MLIC) son: Algeria, Botsuana, Bulgaria, Colombia, Costa Rica, Cuba, R. Dominicana, Ecuador, Irán, Iraq, Jamaica, Jordania. Kazajistán, Latvia. Malasia, Mauricio, Panamá, Perú, Rumania, Sudáfrica, Tailandia y Túnez, cuyos ingresos per cápita promedio están comprendidos entre \$3,001 y \$8,000 dólares.

Los países de ingresos medios altos (MHIC) son: Argentina, Baréin, Brasil, Chile, Croacia, Chipre, R Checa, Estonia, Gabon, Grecia, Hungría, Israel, R. Korea, Libia. Lituana, Malta, México, Polonia, Portugal, Rusia, Arabia Saudita, R. Eslovaquia, Eslovenia, España, Turquía, Uruguay y Venezuela cuyos ingresos per cápita están comprendidos entre \$8.001 y \$30.000 dólares. Los países de ingresos altos (HIC) son Australia, Austria, Bélgica, Brunei, Canadá, Dinamarca, Finlandia. Francia, Alemania, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Luxemburgo, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Qatar, Singapur, Suecia, Suiza, Emiratos Árabes, Reino Unido y Estados Unidos cuyos ingresos son superiores a \$30,001 dólares. Previo al análisis econométrico, se realizó un análisis descriptivo y de correlación de las variables.

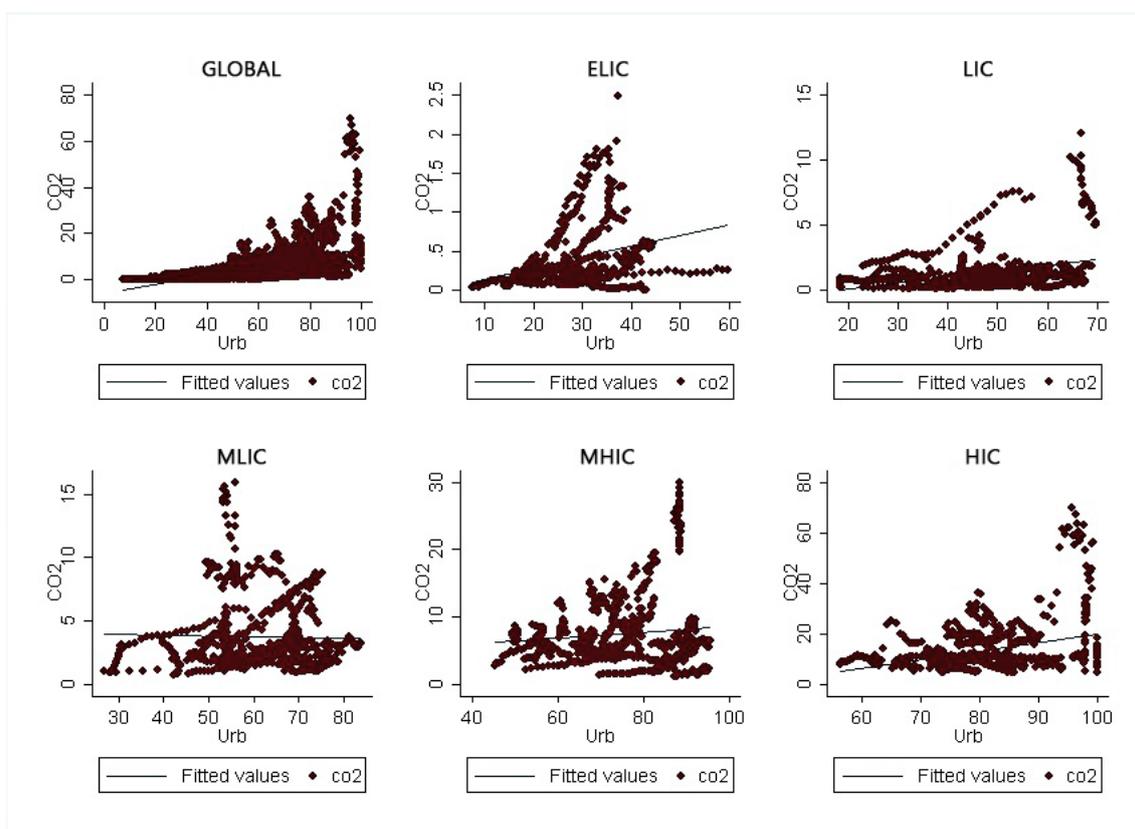


Figura 1. Correlación entre las emisiones de CO2 y la urbanización

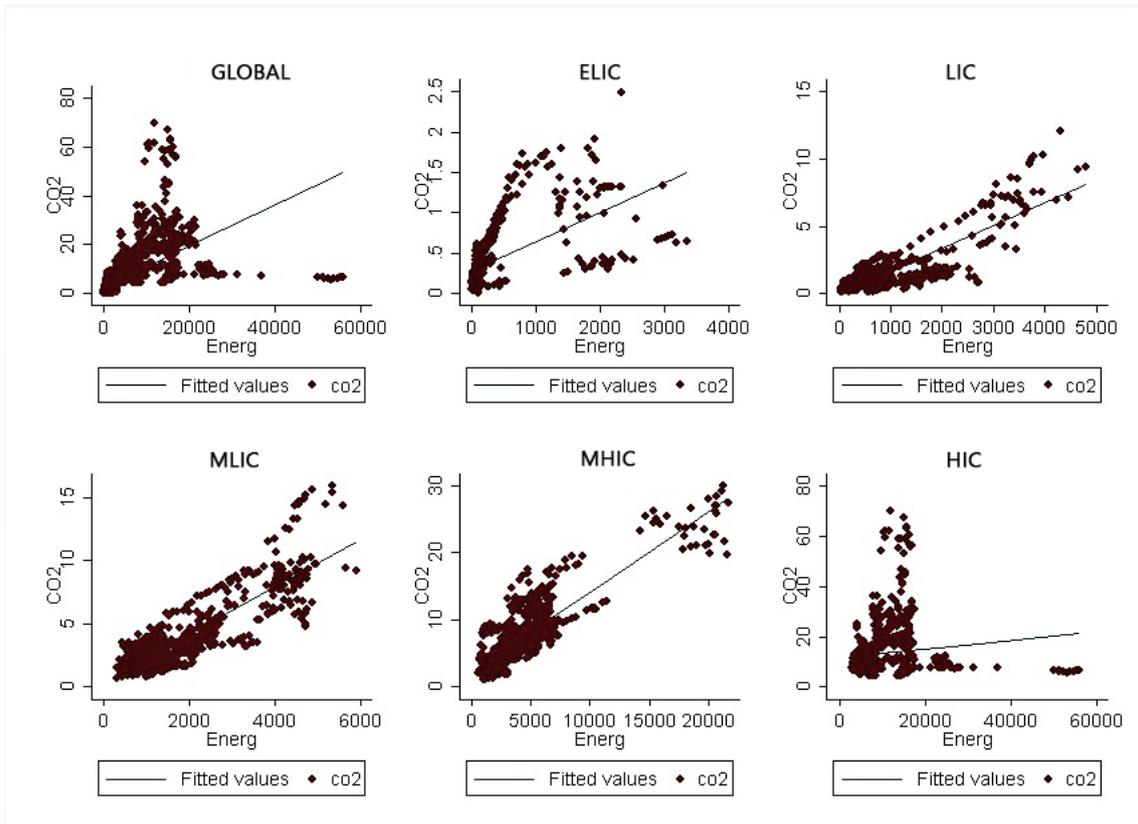


Figura 2. Correlación entre las emisiones de CO2 y el consumo de energía.

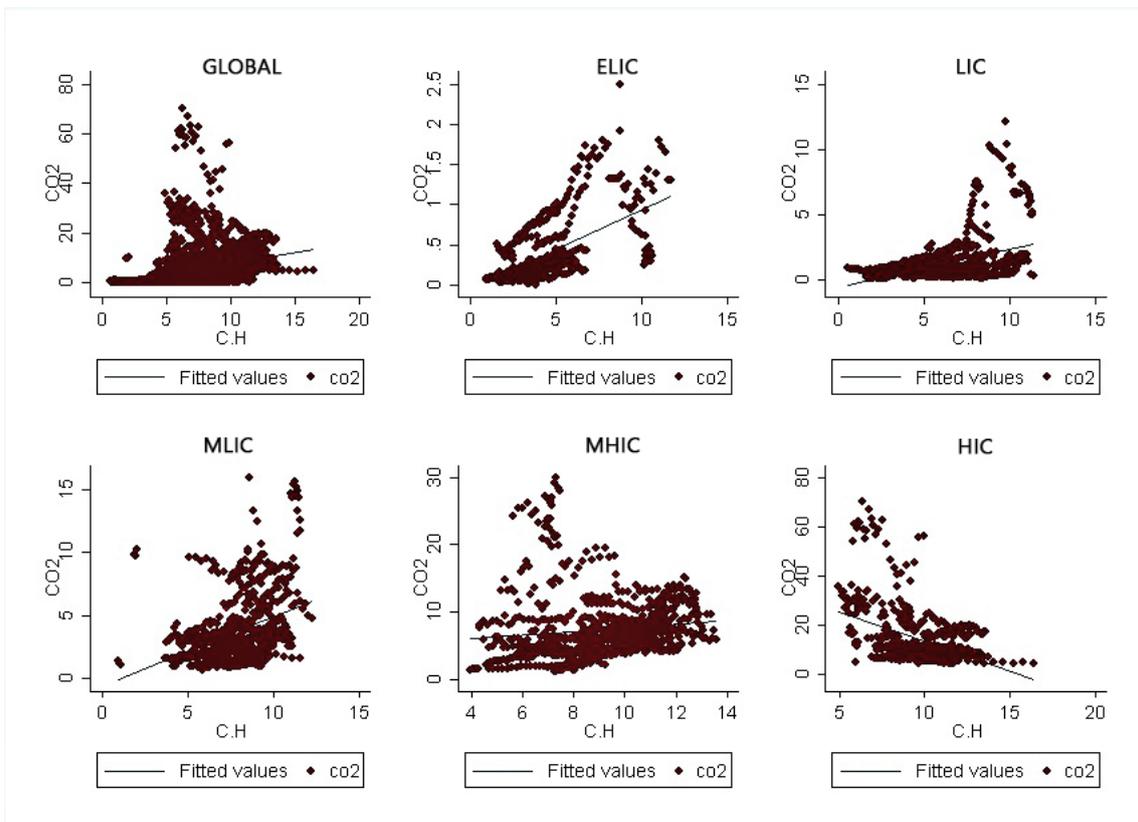


Figura 3. Correlación entre las emisiones de CO2 y capital humano.

La Figura 1 muestra la correlación entre las emisiones de CO2 y la urbanización, a nivel global, en los grupos de países LIC, ELIC, MHIC y HIC. La Figura 2 muestra la correlación entre las emisiones de CO2 y el consumo de energía, se puede observar una correlación positiva en to-

dos los grupos de países excepto en los HIC. La Figura 3 muestra la correlación entre las emisiones de CO2 y el capital humano, observamos una correlación positiva a nivel global y en los países ELIC, LIC, MLIC y MHIC, en los países HIC se observa una correlación negativa.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos

Variable		Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	N
Emisiones de CO2	General	1,65	14,08	-89,69	236,51	N=3534
	Entre		2,53	-5,03	9,19	n=114
	Dentro		13,85	-85,82	228,74	T=31
Urbanización	General	2,13	1,90	-5,27	16,61	N=3534
	Entre		1,62	-0,94	6,56	n=114
	Dentro		0,99	-3,71	12,18	T=31
Consumo de energía eléctrica	General	3,21	20,82	-45,93	1128,90	N=3534
	Entre		4,27	-2,43	39,20	n=114
	Dentro		20,38	-49,81	1092,82	T=31
Capital humano	General	1,74	9,85	-75,67	392,88	N=3534
	Entre		1,58	-0,48	-2,43	n=114
	Dentro		9,72	-84,97	328,46	T=31

En la Tabla 1 se muestran los estadísticos descriptivos de las variables utilizadas. Las cuatro variables forman un panel balanceado en un tiempo y espacio con 3534 observaciones. Las tasas de crecimiento

de la urbanización y de capital humano son más estables entre países que en el tiempo. La desviación estándar indica que existe una menor variabilidad entre los países que dentro de ellos.

3.2. Metodología

La metodología se divide en cinco fases. En primer lugar se estima un modelo econométrico para verificar la dirección de la relación de las variables. En la segunda fase se aplica la prueba de raíz unitaria con el fin de eliminar el efecto tendencial de las series. En la tercera fase se aplica técnicas de cointegración para verificar la existencia de equilibrio de largo plazo entre las emisiones de CO2, la urbanización, el consumo de energía eléctrica per cápita y el nivel de educación. También se aplicó un modelo de corrección de error para verificar la existencia de equilibrio de corto plazo entre las variables del modelo.

En la cuarta fase se estimó la fuerza del vector de cointegración DOLS para los países en forma individual y la prueba PDOLS para los grupos de países clasificados por su nivel ingresos. En la quinta fase se estimó la existencia y dirección de causalidad de Granger de Dumitrescu & Hurlin (2012) en datos de panel para las parejas de variables. En la primera fase se planteó un modelo básico de regresión con datos de panel, donde la variable dependiente está representada por la tasa de crecimiento de las emisiones de CO2 per cápita del país en el período $t(Y(i, t))$ y las variables independientes están representadas por las tasas de crecimiento de la urbanización, la consumo de energía eléctrica y el capital humano. La Ecuación (1) formaliza esta relación:

$$Co2 = (\alpha_0 + \beta_0) + \gamma_1 URB_{it} + \gamma_2 CE_{it} + \gamma_3 CH_{it} + \epsilon_{it} \quad (1)$$

La elección entre efectos fijos y aleatorios es determinada mediante prueba de Hbaausman (1978). El modelo formalizado en la Ecuación (1) presenta heteroscedasticidad, por lo tanto, la ecuación fue estimada utilizando regresiones Mínimos Cuadrados Generalizados (GLS). En la segunda etapa, siguiendo a Maddala & Wu (1999), la prueba de la razón unitaria es estimada mediante la prueba de Dickey & Fuller (1981) y la prueba de Phillips & Perron (1988); las cuales son conocidas en la literatura de datos de panel como ADF y PP, respectivamente. Enders (1995) señala que se puede estimar el orden de integración de las series con tendencia e intercepto a partir de la siguiente ecuación:

$$Co2 = \alpha_0 + \lambda y_{t-1} + \alpha_1 t + \sum_{i=2}^p \beta_j y_{t-i-1} + \epsilon_t \quad (2)$$

En la Ecuación (2), y_t es la variable a ser verificada la existencia de raíz unitaria, α_0 es el intercepto y α_1 captura el efecto tendencial, t es el tiempo, ϵ_t es un ruido gaussiano blanco, y p representa la longitud del rezago. Si el parámetro de la Ecuación (1) es significativo, es posible concluir que todos los paneles contienen raíces unitarias. El número de rezagos de la serie es determinado mediante al criterio de información de Akaike (1974).

Los resultados obtenidos mediante la prueba ADF y PP son contrastados con los resultados obtenidos mediante las pruebas de Levine, Lin & Chu (2002), Im, Pesaran & Shin (2003) y Breitung (2000). Esto asegura que las series utilizadas en las estimaciones posteriores no tienen el problema de la raíz unitaria. La tercera etapa de la estrategia econométrica contiene dos partes. Primero, con el fin de determinar la existencia de una relación de largo plazo entre las tres variables, usamos la prueba de cointegración desarrollado por Pedroni (1999), el cual puede ser estimado a partir de la siguiente ecuación:

$$y_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^{n-1} \beta_{ij} X_{it-j} + \sum_{j=1}^{n-1} \omega_1 y_{it-j} + \pi_i ECT_{t-1} + \epsilon_{it} \quad (3)$$

En la Ecuación (3), $y(i, t)$ representa la variable dependiente del país i en el tiempo t . El parámetro t representa $1, 2, 3, \dots, N$ observaciones. El parámetro $i = 1, 2, \dots, N$ es el término constante. Los parámetros β_j y ω_j son los estimadores asociados con los regresores, mientras que $ECT(t-1)$ es el término de corrección de error obtenido del vector de cointegración. Finalmente, ϵ_{it} es el término de error aleatorio estacionario con media cero y j es la longitud del rezago. La hipótesis nula plantea que no existe cointegración en al menos una serie incluida en la prueba. La segunda parte de la segunda etapa consiste en plantear un modelo de corrección de error para determinar el equilibrio de corto plazo entre las series. En este sentido, planteamos un modelo para estimar la prueba de corrección de error de Westerlund (2007) en base de la siguiente ecuación:

$$y_{it} = \delta' \alpha_i + \alpha (y_{it-1} - \beta_i' X_{it-1}) + \sum_{j=1}^{p_i} \alpha_{ij} y_{it-j} + \sum_{j=-q_i}^{p_i} \gamma_{ij} X_{it-j} + \epsilon_{it} \quad (4)$$

En la Ecuación (4), $t = 1, \dots, T$ periodos de tiempo, $i = 1, \dots, N$ países y el término d_t son los componentes determinísticos. A partir de la Ecuación (3), es posible la existencia de tres escenarios. El primero es cuando $d_t = 0$, el cual ocurre sino existen componentes determinísticos en la tasa de crecimiento del consumo de energía renovable o energía no renovable. El segundo ocurre cuando $d_t = 1$, donde y_{it} tiene una constante. La tercera opción es cuando $d_t = (1-t)t'$, lo cual ocurre cuando y_{it} tiene una constante y una tendencia. Por ello, nos basamos en el supuesto de que el vector k dimensional del X_{it} (que representa a la energía renovable o a la energía no renovable, respectivamente) es aleatorio e independiente de (i, t) , por lo cual se asume que dichos errores son independientes a través de i y t . El criterio de aceptación de

rechazo establecida en la hipótesis nula es que no existe cointegración a corto plazo.

En la cuarta etapa, utilizamos el planteamiento de Pedroni (2001), quien plantea una forma más robusta con respecto de aquellas que proponen una sola ecuación, la cual permite evaluar la fuerza de la relación de equilibrio entre las tasas de crecimiento del producto real per cápita, consumo de energía sustentable y energía no sustentable. En diferentes campos de la literatura empírica se ha utilizado este procedimiento para evaluar la fuerza del vector de cointegración entre las variables analizadas (Ozturk, Aslan & Kalyoncu, 2010). El procedimiento propuesto por Pedroni (2001) fue adaptado en el contexto práctico por Neal (2014) y es utilizado en esta investigación para medir la fuerza de la relación entre las tres variables en cada país de forma individual mediante un modelo de mínimos cuadrados ordinarios dinámicos (DOLS) y para la región en su conjunto o para los grupos de países clasificados de acuerdo a su nivel de ingreso nacional bruto per cápita a través de un modelo de panel de mínimos cuadrados ordinarios dinámicos (PDOLS). La Ecuación (5) plantea la relación entre las tres variables de la siguiente forma:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i X_{it} + \sum_{j=-p}^p \lambda_{it} \Delta X_{it-j} + \mu_{it} \quad (5)$$

En la Ecuación (5), $y(i, t)$ es la tasa de crecimiento del producto real per cápita, $i = 1, 2, \dots, N$ es el número de países, $t = 1, 2, \dots, T$ es el número de periodos de tiempo, $p = 1, 2, \dots, P$ es el número de rezagos y adelantos que en la regresión DOLS, λ_i es el coeficiente de pendiente de la regresión, y $X(i, t)$ es una matriz que contiene a las dos variables explicativas, la misma que incluye la tasa de crecimiento de la energía sustentable y de la energía no sustentable. Los coeficientes y los estadísticos asociados t se promedian en todo el panel utilizando el método de medias grupales de Pedroni (2001). El estimador PDOLS de Pedroni (2001) se promedia a lo largo de la dimensión entre los grupos (Neal, 2014), donde la hipótesis nula es que $\lambda_i = 0$ frente a la hipótesis alternativa que $\lambda_i \neq 0$. Pedroni (2001) sugiere que este proceso tiene una ventaja cuando se estiman modelos con la posibilidad de que exista heterogeneidad en la pendiente. Finalmente, siguiendo el modelo propuesto por Dumitrescu & Hurlin (2012) y llevado a la literatura empírica de datos de panel, en la quinta etapa determinamos la existencia y la dirección de causalidad tipo Granger (1988) para modelos con datos de panel, el cual puede ser estimado a partir de la siguiente ecuación:

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

Siguiendo la misma nomenclatura de las ecuaciones previas, en la Ecuación (6) el término $y(i, t)$ es la tasa de crecimiento del producto real per cápita. El test de causalidad es verificado entre pareja de variables de forma separada. La letra $x(i, t)$ denota a la variable independiente. Esto implica que la relación y la dirección de causalidad se ver-

ifican primero entre la tasa de crecimiento del producto y la tasa de crecimiento del consumo de energía sustentable. Luego, estimamos la relación de causalidad entre la tasa de crecimiento del producto y la tasa de crecimiento del consumo de energía no sustentable. Asumimos que $i = (1), \dots, (k)$, se supone que el término i es fijo en la dimensión tiempo. El parámetro autorregresivo λ_i^k y el coeficiente de regresión β_i^k varían entre las secciones transversales. Siguiendo a Shahbaz, Nasreen, Abbas & Anis (2015), la hipótesis nula a verificar es que no existe ninguna relación de causalidad para cualquiera de las secciones transversales del panel. A saber, $H_0 : \lambda_i = 0; i = 1, 2, \dots, N$. La siguiente sección muestra los resultados obtenidos al aplicar las cuatro etapas de la estrategia econométrica.

4. Discusión de resultados

Primero se aplicó la prueba de Hausman (1978), el cual verifica que existe una diferencia sistemática de los estimadores de efectos fijos y aleatorios ($FE - RE$) y es estadísticamente diferente de 0. En consecuencia, existe mayor consistencia en el uso de efectos aleatorios para estimar las regresiones. Se aplicó la prueba de Wooldridge (1991), con lo cual se determinó que los datos presentan heteroscedasticidad en todos los paneles. Con el fin de corregir este problema econométrico se estimaron regresiones GLS siguiendo a Wooldridge (2002). Las regresiones indican que a nivel global, la urbanización, el consumo de energía eléctrica tienen un efecto positivo en las emisiones de CO2, siendo estadísticamente significativos al 0.1%, mientras que el capital humano tiene un efecto positivo, pero no es estadísticamente significativo.

La Tabla 2 reporta los resultados de la estimación de la Ecuación (1). Se encontró que todos los coeficientes son positivos en los MLIC, siendo el consumo de energía significativo, mientras que en los ELIC, LIC, MHIC y HIC los coeficientes de urbanización y consumo de energía son positivos, siendo este último estadísticamente significativo al 0,1%, mientras que el coeficiente de capital humano es negativo y estadísticamente significativo al 0,05% en los MHIC y HIC. Estos resultados son consistentes con los resultados obtenidos para la región asiática (Wang et al. 2013; Wang et al. 2015; Wu et al. 2016; Zhang et al. 2017; Wang et al. 2018). Wang et al. (2015) quienes revelan el efecto de la urbanización sobre las emisiones de carbono para los países de la ASEAN obteniendo que un aumento del 1% en la población urbana da como resultado un aumento del 0,20% en las emisiones de carbono. Mientras que Wu et al. (2016) indican que a una mayor tasa de urbanización, el coeficiente de emisión de carbono de la energía y la intensidad energética darán lugar a un aumento de las emisiones de carbono.

Alam et al. (2017) encuentran que las emisiones de CO2 y el crecimiento de la población son estadísticamente significativas para la India y Brasil, y no significativas para China e Indonesia en el corto y largo plazo, las emisiones de CO2 disminuirán con el tiempo cuando los ingresos aumenten.

Tabla 2. Resultados de las regresiones de línea base GLS

	GLOBAL	ELIC	LIC	MLIC	MHIC	HIC
Tasa de urbanización	0,63*** (-7,77)	0,32 (-0,70)	0,53 (-2,20)	0,32 (-1,70)	0,16 (-0,96)	0,06 (0,31)
Tasa de consumo de energía	0,11*** (-10,31)	0,34*** (-5,61)	0,02 (-1,93)	0,30*** (-7,25)	0,63*** (-15,31)	0,79*** (-18,40)
Tasa de escolaridad	0,01 (-0,86)	-0,03 (-0,21)	-0,03 (-0,39)	0,001 (-0,14)	-0,10 (-0,79)	-0,25 (-1,54)
Costante	-0,31 (-1,78)	0,77 (-0,47)	1,31 (-1,82)	0,05 (-0,01)	-0,92** (-3,13)	-0,90** (-2,98)
Prueba de correlación serial (p-valor)	0,26	0,13	0,22	0,03	0,22	0,30
Efectos fijos (tiempo)	No	No	No	No	No	No
Efecto fijos (país)	No	No	No	No	No	No
Observaciones	3534	527	744	682	837	744

Los resultados de la segunda fase del test de raíz son reportados en la Tabla 3. Siguiendo a Mandala & Wu (1999), reportamos los resultados de la prueba no paramétrica de raíz unitaria tipo Fisher basada en la prueba ADF de Dickey & Fuller Aumentado (1981) y la prueba PP basado en Phillips & Perron (1988). Las pruebas fueron estimadas sin efectos del tiempo y con efectos del tiempo.

Los resultados de las pruebas ADF y PP demuestran que las series son estacionarias en niveles I(0) al 1% de significancia. Para asegurar la robustez de los valores estimados, se aplicó las pruebas de Levine et

al. (2002), Im et al. (2003) y Breitung (2001), conocidas en la literatura de datos de panel como LLC, IPS y UB, respectivamente. En general, la hipótesis nula no puede ser aceptada. Se aplicó la prueba de Hausman (1978), el cual verifica que existe una diferencia sistemática de los estimadores de efectos fijos y aleatorios ($FE - RE$) y es estadísticamente diferente de 0. En consecuencia, existe mayor consistencia en el uso de efectos aleatorios para estimar las regresiones. Se aplicó la prueba Wooldridge (1991), se determinó que los datos presentan heterocedasticidad en todos los paneles.

Tabla 3. Resultados de la prueba de raíz unitaria

		Sin efectos del tiempo					Con efectos del tiempo				
		PP	ADF	LL	UB	IPS	PP	ADF	LL	UB	IPS
GLOBAL	CO2 _{i,t}	-51,6***	-15,9***	-51,1***	-12,2***	-51,5***	-51,02**	-15,6***	-44,9***	-12,2***	-47,7***
	Urb _{i,t}	2,25	-2,23*	-6,3***	1,38	-6,87***	2,15	-5,87***	-7,95***	-3,86***	-7,69***
	Cen _{i,t}	-43,5***	-12,1***	-40,2***	-12,4***	-40,6***	-43,75**	-12,83**	-33,6***	-13,9***	-40,1***
	Ch _{i,t}	-8,89***	-14,8***	-10,1***	-2,74**	-15,1***	-37,34**	-37,3***	-37,5***	-16,67**	-40,4***
ELIC	CO2 _{i,t}	-17,8***	-5,85***	-16,4***	-5,46***	-16,2***	-17,8***	-7,32***	-15,3***	-5,89***	-17,3***
	Urb _{i,t}	1,23	-2,23*	-1,31	-0,19	-1,76*	1,17	-3,55***	-2,45**	-2,45**	-1,80*
	Cen _{i,t}	-17,5***	-3,61***	-14,4***	-3,73***	-15,7***	-18,2***	-4,48***	-14,9***	-3,97***	-16,6***
	Ch _{i,t}	-3,06**	-4,56***	-3,26***	-1,03	-4,37***	-11,7***	-13,3***	-10,8***	-4,83***	-13,1***
LIC	CO2 _{i,t}	-24,3***	-7,57***	-23,2***	-5,22***	-24,7***	-24,6***	-7,63***	-21,8***	-5,41***	-23,0***
	Urb _{i,t}	2,75	0,17	-3,36***	1,69	-2,30*	2,82	-2,78**	-3,99***	-1,39*	-2,02*
	Cen _{i,t}	-19,6***	-6,44***	-18,6***	-6,71***	-19,7***	-20,4***	-10,5***	-21,2***	-9,23***	-21,9***
	Ch _{i,t}	-5,83***	-8,95***	-6,95***	-0,56	-9,33***	-16,8***	-23,4***	-18,5***	-9,6***	-20,6***
MLIC	CO2 _{i,t}	-22,9***	-7,54***	-21,4***	-5,93***	-22,3***	-23,1***	-7,53***	-18,6***	-5,96***	-21,0***
	Urb _{i,t}	2,73	-0,66	-3,60***	0,79	-1,73*	1,77	-1,58*	-4,18***	-1,78*	-3,05**
	Cen _{i,t}	-18,7***	-6,69***	-16,5***	-4,43***	-16,9***	-19,3***	-6,23***	-15,2***	-4,84***	-16,0***
	Ch _{i,t}	-5,79***	-9,47***	-4,67***	-1,18	-9,37***	-19,4***	-12,8***	-15,1***	-12,0***	-17,9***
MHIC	CO2 _{i,t}	-25,2***	-8,31***	-26,1***	-6,49***	-24,9***	-24,8***	-7,68***	-26,0***	-5,67***	-25,1***
	Urb _{i,t}	-0,6	-2,43**	-3,66***	1,08	-4,57***	-2,07*	-4,87***	-4,36***	-3,22***	-5,34***
	Cen _{i,t}	-19,5***	-8,28***	-19,4***	-7,78***	-17,4***	-19,0***	-7,38***	-18,3***	-8,69***	-17,8***
	Ch _{i,t}	-4,65***	-8,64***	-5,60***	-1,93*	-9,33***	-5,62***	-11,1***	-7,25***	-3,73***	-10,9***
HIC	CO2 _{i,t}	-24,4***	-6,19***	-25,9***	-4,59***	-26,1***	-23,3***	-9,94***	-20,2***	-4,68***	-24,0***
	Urb _{i,t}	-0,86	0,04	-2,12*	-0,95	-4,68***	2	1,77	-1,24	-3,13***	-3,92***
	Cen _{i,t}	-21,7***	-1,82*	-20,4***	-6,35***	-20,9***	-21,5***	-5,68***	-20,3***	-6,67***	-21,4***
	Ch _{i,t}	-0,47	-1,42*	-1,03	-1,64*	-0,95	-5,55***	-5,91***	-5,55***	-2,81**	-5,20***

Los resultados de la tercera fase consisten en la determinación de la relación de equilibrio a corto y largo plazo entre las tres variables usando técnicas de cointegración para datos de panel. Primero se aplicó la prueba de cointegración de Pedroni (1999) para determinar el equilibrio en el largo plazo. Los resultados de las pruebas de cointegración indican que las tasas de crecimiento de las emisiones de CO2, urbanización, consumo de energía eléctrica y capital humano tienen una relación de equilibrio a largo plazo ya que los estadísticos dentro de las dimensiones de los paneles como entre las dimensiones de los paneles son estadísti-

camente significativos.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Wang et al. (2017) quienes en su análisis para 170 países a nivel mundial sugieren que existe una relación de cointegración entre las variables en todos los países estudiados, y que existe una relación positiva estadísticamente significativa entre las variables empleadas a largo plazo. Boamah, Du, Boamah & Appiah, (2018) encuentran que la contaminación ambiental en China, de acuerdo con la función de respuesta al impulso, son las importaciones, la urbanización y el consumo de energía.

Behera & Dash (2017) encuentran que la urbanización, el consumo de energía primaria y las emisiones de CO2 están cointegradas en todos los subgrupos de países independientemente de su nivel de ingreso.

Tabla 4. Resultados de la prueba de cointegración de Pedroni

	GLOBAL	ELIC	LIC	MLIC	MHIC	HIC
Estadísticos de prueba dentro de la dimensiones Co2 -Urb						
Panel estadístico-v	-,51**	-1,89	-2,05**	-1,78	-2,09**	-1,62
Panel estadístico-p	-17,49**	-5,27**	-8,12**	-8,67**	-8,41**	-8,31**
Panel estadístico-PP	-50,38**	-16,67**	-22,44**	-24,64**	-26,78**	-24,84**
Panel estadístico-ADF	-31,91**	-12,74**	-11,23**	-18,74**	-16,64**	-15,48**
Estadísticos de prueba dentro de las dimensión Co2 -Urb						
Panel estadístico-p	-13,49**	-3,9**	-6,65**	-7,08**	-6,44**	-6,64**
Grupo estadístico-PP	-55,93**	-17,59**	-26,17**	-27,24**	-30,83**	-27,18**
Grupo estadístico-ADF	-29,89**	-12,51**	-11,16**	-19,44**	-17,7**	-13,68**

Se realizó las pruebas de cointegración en el corto plazo estimando un modelo de error vectorial don datos de panel (VEC) desarrollado por Westerlund (2007). Este modelo tiene una limitación práctica en la cual solo es posible verificar el equilibrio de corto plazo entre parejas de variables. Por lo tanto se estima la Ecuación (4) de manera separada entre las tasas de emisiones de CO2 y urbanización, luego entre las tasas de emisiones de CO2 y el consumo de energía eléctrica y final-

mente entre las tasas de emisiones de CO2 y capital humano. Los resultados obtenidos indican existencia de equilibrio en el corto plazo a nivel global y para todos los grupos de países con lo que se confirma que un cambio en la urbanización, el consumo de energía y el capital humano genera cambios inmediatos en la tasa de crecimiento de las emisiones de CO2.

Tabla 5. Resultados de las pruebas de cointegración de corto plazo de Westerlund

Grupo	Estadístico	Urbanización			Energía			Capital humano		
		Valor	Valor Z	Valor P	Valor	Valor Z	Valor P	Valor	Valor Z	Valor P
GLOBAL	Gt	-5,207	-37,9	0,00	-5,3	-39,18	0,00	-5,09	-36,39	0,00
	Ga	-37,64	-41,32	0,00	-38,64	-42,92	0,00	-38,26	-42,32	0,00
	Pt	-60,36	-44,03	0,00	-59,31	-42,8	0,00	-59,86	-43,45	0,00
	Pa	-38,22	-52,32	0,00	-38,69	-53,16	0,00	-39,75	-55,06	0,00
ELIC	Gt	-4,86	-12,88	0,00	-5,05	-13,86	0,00	-4,8	-12,56	0,00
	Ga	-33,76	-13,55	0,00	-40,32	-17,62	0,00	-39,11	-16,86	0,00
	Pt	-21,75	-15,18	0,00	-21,23	-14,58	0,00	-20,37	-13,58	0,00
	Pa	-39,34	-20,98	0,00	-38,49	-20,39	0,00	-38,4	-20,33	0,00
LIC	Gt	-5,77	-20,82	0,00	-5,6	-19,79	0,00	-5,31	-18,06	0,00
	Ga	-37,7	-19	0,00	-36,38	-18,03	0,00	-34,69	-16,78	0,00
	Pt	-32,25	-25,51	0,00	-29,97	-22,86	0,00	-32,06	-25,29	0,00
	Pa	-35,8	-22,02	0,00	-38,52	-24,25	0,00	-42,44	-27,47	0,00
MLIC	Gt	-5,07	-15,87	0,00	-5,61	-19,01	0,00	-5,02	-15,6	0,00
	Ga	-35	-16,85	0,00	-36,84	-17,59	0,00	-33,93	-15,53	0,00
	Pt	-25,22	-17,83	0,00	-26,93	-19,83	0,00	-24,74	-17,27	0,00
	Pa	-41,37	-25,45	0,00	-41,03	-25,19	0,00	-38,14	-22,92	0,00
MHIC	Gt	-5,44	-20,01	0,00	-5,36	-19,46	0,00	-5,38	-19,61	0,00
	Ga	-39,24	-21,36	0,00	-39,44	-21,52	0,00	-42,79	-24,13	0,00
	Pt	-29,55	-21,63	0,00	-29,65	-21,75	0,00	-27,93	-19,75	0,00
	Pa	-38,03	-25,29	0,00	-41,83	-28,6	0,00	-41,78	-28,56	0,00
HIC	Gt	-4,73	-14,52	0,00	-4,82	-15,08	0,00	-4,8	-14,92	0,00
	Ga	-40,23	-20,87	0,00	-40,44	-21,02	0,00	-4,13	-20,79	0,00
	Pt	-25,75	-17,93	0,00	-23,62	-15,45	0,00	-26,03	-18,26	0,00
	Pa	-39,95	-25,42	0,00	-35,44	-21,72	0,00	-35,02	-21,38	0,00

Los resultados reportados en la Tabla 4 presentan dos limitaciones relevantes. En primer lugar la prueba de Pedroni (1999) mostrada en la Ecuación (3) estima únicamente la posible existencia de un vector de cointegración, pero no fuerza de aquel vector. En segundo lugar no reporta la relación de equilibrio entre las variables en cada país. Por lo tanto, los resultados de la cuarta fase reportan la fuerza del vector de cointegración a partir de la estrategia desarrollada por Pedroni (2001) formalizado en la Ecuación (5). La Tabla 6 reporta los estimadores obtenidos mediante mínimos cuadrados dinámicos (DOLS) para los países de forma individual y con una variable dummy, mientras que la Tabla 7 reporta los estimadores DOLS sin la variable dummy.

Se encontró que en los ELIC, la urbanización no es estadísticamente significativa y los estimadores son superiores a 1 en todos los países excepto para Nepal y Togo, lo que indica que la fuerza del vector de cointegración es contundente en el largo plazo. Por otro lado el consumo de energía no es estadísticamente significativo y los estimadores solo son superiores a 1 en Benín, Camboya, República Democrática del Congo, Haití, Nepal, Tayikistán y Vietnam. El capital humano no es estadísticamente significativo y los estimadores son superiores a 1 en la mayoría de los países. Tanto en los LIC y en los MLIC, la urbanización,

el consumo de energía y el capital humano no es estadísticamente significativa y los estimadores son superiores a 1 en la mayoría de los países.

Por último, en los MHIC y los HIC, la urbanización, el consumo de energía y el capital humano no es estadísticamente significativo y los estimadores son superiores a 1 en la mayoría de países.

Tabla 6. Resultados de pruebas de los modelos DOLS individuales (con dummy)

ELIC	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	Ch _{i,t}	LIC	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	Ch _{i,t}	MLIC	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	Ch _{i,t}
Bangladesh	11,57	-0,25	2,11	Albania	5,4	0,79	-3,26	Algeria	-5,83	-5,83	1,44
Benín	4,58	2,96	2,26	Armenia	-1,06	-0,41	-5,03	Botsuana	-0,26	-0,26	-3,45
Cambodia	7,4	-2,4	-4,96	Bolivia	-2,1	0,54	1,6	Bulgaria	5,44	5,44	4,49
R D Congo	35,96	3,6	-1,82	Camerún	-75,3	-3,04	-2,24	Colombia	-12,51	-12,5	0,96
Haití	-5,31	1,03	1,72	China	6,54	1,04	-10,1	Costa Rica	1,53	1,53	2,75
India	3,82	0,07	0,62	R. Congo	5,81	1,03	5,94	Cuba	3,91	3,91	5,77
Kenia	45,56	0,94	0,21	Costa de Marfil	25,76	3,2	1,79	R. Dominicana	-0,56	-0,56	4,99
Kirguistán	1,6	0,13	4,52	Egipto	-2,13	1,08	2,9	Ecuador	3,44	3,44	-1
Mozambique	-6,12	-0,007*	0,99	El Salvador	5,21	1,27	3,99	Irán	3,88	3,88	1,33
Myanmar	2,93	-0,14	-0,72	Ghana	-8,14	0,25	-0,8	Iraq	7,98	7,98	0,43
Nepal	-0,04*	2,6	-4,41	Guatemala	-0,3*	0,62	-0,21	Jamaica	-5,67	-5,67	3,79
Pakistán	-34	0,18	2	Honduras	13,17	0,99	13,42	Jordania	-2,09	-2,09	2,02
Senegal	1,61	-0,25	0,11	Indonesia	0,59	0,01*	2,16	Kazajistán	1,4	1,4	-3,1
Tayikistán	8,01	2,07	-4,99	Moldova	16,06	0,98	6,25	Latvia	12,57	12,57	0,51
Tanzania	1,38	-0,26	-5,14	Marruecos	-10,3	0,8	0,82	Malasia	1,65	1,65	1,67
Togo	-0,98*	-0,23	-0,13*	Nicaragua	-1,89	0,26	-7,49	Mauricio	1,1	1,1	0,14
Vietnam	35,62	2,33	6,76	Paraguay	-0,34	0,82	-2,93	Panamá	10,91	10,91	7,26
				Filipinas	5,49	0,47	-2,96	Perú	16,67	16,67	-,63
				Sri Lanka	-6,17	0,42	4,15	Romania	-8,64	-8,64	-7,23
				Sudán	-0,94	0,25	6,64	Sudáfrica	-7,55	-7,55	0,27
				Ucrania	-1,18	1,22	13,62	Tailandia	-2,25	-2,25	-0,02*
				R. Yemen	0,17	0,43	1,34	Túnez	-0,67	-0,67	-0,4
				Zambia	3,84	0,9	4,03				
				Zimbabue	0,9	0,37	-8,18				
MHIC	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	Ch _{i,t}	HIC	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	Ch _{i,t}				
Argentina	8,4	0,74	0,53	Australia	-1,81	-1,36	0,25				
Bahréin	-0,34	0,76	2,97	Austria	1,4	-0,24	-17,2				
Brasil	-3,35	1,64	-0,99	Bélgica	-2,01	0,9	1,39				
Chile	-1,7	0,99	-7,94	Brunei	-4,3	-1,05	45,09				
Croacia	-0,39	1,57	-0,68	Canadá	0,62	-0,12	1,12				
Chipre	4,15	0,93	-1,79	Dinamarca	-1	2,01	3,95				
R Checa	0,75	-0,97	-1,12	Finlandia	-1,57	1,35	3,45				
Estonia	4,35	1,41	-2,43	Francia	2,3	-2,12	0,29				
Gabón	4,05	0,63	1,09	Alemania	-0,03*	0,37	-1,52				
Grecia	6,05	2,1	-1,37	Islandia	1,76	-0,31	-1,55				
Hungría	0,54	0,45	-0,13	Irlanda	1,86	1,48	-2,45				
Israel	4,3	1,24	-1,92	Italia	1,74	1,97	1,36				
R. Corea	4,44	0,7	-5,7	Japón	-,98	0,44	-4,32				
Libia	-2,54	-0,27	-3,51	Luxemburgo	-6,77	-2,04	5,12				
Lituana	-1,44	0,7	3,14	Holanda	-0,26	-0,02*	-0,32				
Malta	0,46	0,23	1,85	Nueva Zelanda	0,35	-2,19	0,07				
México	-4,39	0,26	-0,31	Noruega	-0,4	1,78	2,39				
Polonia	-8,91	0,97	-4,21	Qatar	-1,33	0,8	-6,58				
Portugal	0,002***	3,04	3,83	Singapur	1,55	-3,43	6,39				
Rusia	5,62	0,79	-3,57	Suecia	-2,61	0,87	-0,42				
Arabia Saudita	5,82	1,14	12,71	Suiza	-0,64	0,55	-0,02				
R. Eslovaquia	-5,45	-0,04	0,35	Emiratos Árabes	-2,02	1,93	-0,06*				
Eslovenia	-4,82	-0,01*	-9,05	Reino Unido	-2,32	0,14	0,17				
España	-1,79	1,87	4,2	Estados Unidos	-0,381	-1,1	-0,51				
Turquía	-5,85	1,29	1,39								
Uruguay	-2,26	1,64	0,78								
Venezuela	1,33	-1,2	-23,41								

Nota: *, **, *** indican rechazo al nivel de 5%,10%,1% respectivamente para H0:β₁ = 1

Tabla 7. Resultados de pruebas de los modelos DOLS individuales (sin dummy)

ELIC Ch _{i,t}	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	Ch _{i,t}	LIC	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	Ch _{i,t}	MLIC	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	
Bangladesh	-1,08	0,07	0,68	Albania	-6,17	1,04	-4,11	Algeria	-3,28	0,02	0,86
Benín	1,67	0,7	14,11	Armenia	-1,31	0,06	-2,1	Botsuana	-0,37	0,02	7,68
Cambodia	7,44	-1,78	-4,36	Bolivia	4,06	1,68	-,01.*	Bulgaria	-8,35	1,02	3,27
R D Congo	13,88	3,49	8,26	Camerún	116,6	-3,86	49,02	Colombia	-4,04	1,08	1,64
Haití	-5,93	1,05	16,57	China	-1,25	1,62	-3,89	Costa Rica	2,58	2,02	2,36
India	-2,54	0,93	-0,95	R. Congo	37,92	0,72	-4,23	Cuba	-10,71	0,71	5,28
Kenia	19,17	1,16	-1,33	Costa de Marfil	-14	2,71	-3,59	R. Dominicana	-3,13	0,18	10,69
Kirguistán	3,21	0,61	5,58	Egipto	-19,7	0,54	1,11	Ecuador	1,84	-0,17	-4,13
Mozambique	-3,59	-0,06	1,58	El Salvador	4,6	1,87	3,68	Irán	2,22	1,19	0,81
Myanmar	18,81	0,03	7,72	Ghana	-1,78	0,56	-2,48	Iraq	-8,44	1,03	-4,09
Nepal	-0,54	-3,97	-,12*	Guatemala	-7,16	0,71	0,23	Jamaica	23,79	0,27	4,11
Pakistán	-1,13	0,47	1,33	Honduras	-0,49	0,16	5,75	Jordania	-0,92	0,53	0,56
Senegal	0,97	0,46	0,52	Indonesia	1,28	0,17	1,68	Kazajistán	1,98	1,22	-2,05
Tayikistán	10,24	-0,58	3,55	Moldova	17,67	0,88	12,76	Latvia	5,64	0,82	0,48
Tanzania	3,55	1,07	5,93	Marruecos	0,27	1,35	3,38	Malasia	2,97	0,6	3,62
Togo	-7,94	-0,08	-3,98	Nicaragua	0,66	-0,41	8,82	Mauricio	6,71	1,27	-0,87
Vietnam	-2,65	1,27	7,35	Paraguay	0,9	0,89	-3,35	Panamá	4,47	0,38	5,18
				Filipinas	5,72	0,17	-6,57	Perú	-11,23	1,5	-2,29
				Sri Lanka	2,55	-0,06	1,33	Romania	-3,12	0,9	-31,33
				Sudán	-0,96	0,16	-1,39	Sudáfrica	-1,96	0,99	-1,03
				Ucrania	6,69	0,67	5,82	Tailandia	-2,84	0,91	0,19
				R. Yemen	-0,46	-0,41	1,23	Túnez	0,32	0,56	0,33
				Zambia	4,29	2,19	1,73				
				Zimbabwe	1,41	0,61	-1,08				
MHIC	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	Ch _{i,t}	HIC	Urb _{i,t}	Energ _{i,t}	Ch _{i,t}				
Argentina	-21,58	0,8	-1,66	Australia	-8,05	0,35	-2,42				
Bahrén	-0,37	0,66	2,35	Austria	-4,25	2,1	-1,27				
Brasil	-0,51	1,95	.45	Bélgica	-6,99	.96	4,87				
Chile	6,76	0,7	-2,87	Brunei	-5,43	-1,72	70,2				
Croacia	1,61	1,4	8,37	Canadá	.48	.85	1,03				
Chipre	3,25	0,89	-2,49	Dinamarca	-16,3	2,03	5,93				
R Checa	-1,38	.04	.14	Finlandia	14,84	1,19	3,86				
Estonia	3,01	1,04	-.65	Francia	.10*	.58	1,42				
Gabón	-0,37	.27	2,74	Alemania	1,88	.28	-.003**				
Grecia	8,34	1,46	.16	Islandia	-4,51	-.42	-6,61				
Hungría	-1,27	.74	.70	Irlanda	-1,20	1,13	-3,97				
Israel	4,39	.97	-4,27	Italia	-8,55	1,41	7,79				
R. Corea	3,97	.59	-3,70	Japón	-1,18	.45	2,61				
Libia	2,12	-.17	-.39	Luxemburgo	-3,93	.09	3,31				
Lituana	-2,85	.46	3,18	Holanda	1,30	.77	-1,31				
Malta	6,29	.29	8,29	Nueva Zelanda	-.17	-.72	.97				
México	0,32	.80	1,81	Noruega	3,34	.89	2,32				
Polonia	-0,54	1,31	-4,05	Qatar	-1,1	.58	-8,46				
Portugal	4,59	2,07	3,5	Singapur	4,13	-.95	6,08				
Rusia	2,52	.62	-2,28	Suecia	-1,74	.32	1,12				
Arabia Saudita	.18*	3,67	-12,1	Suiza	-2,34	.89	-.45				
R. Eslovaquia	-2,42	-.14	-.077	Emiratos Árabes	-2,12	1,42	.430				
Eslovenia	-1,6	.59	5,63	Reino Unido	-2,73	.69	-1,12				
España	-3,19	1,36	4,49	Estados Unidos	2,97	.77	-6,83				
Turquía	-8,18	.74	-1,92								
Uruguay	-8,05	1,55	-14,68								
Venezuela	3,28	-1,48	3,01								

Nota: *, **, *** indican rechazo al nivel de 5%,10%,1% respectivamente para H0:β_i = 1

La Tabla 8 reporta las estimaciones de los modelos de panel PDOLS con y sin efectos del tiempo. Los resultados enfatizan la atención en los modelos sin dummy, dado que la prueba de Hausman (1978) indica que los efectos del tiempo no explican el modelo. Se encontró que los ELIC tienen un estimador cercano a uno en las variables urbanización,

consumo de energía y capital humano confirmando los modelos de los modelos DOLS. Los LIC, MHLIC y HIC tienen un estimador superior a 1 en las variables urbanización y capital humano. Los HIC tienen un estimador superior a 1 en las variables consumo de energía y capital humano.

Tabla 8. Resultados de pruebas de los modelos de panel PDOLS

Grupos	Con dummy del tiempo						Sin dummy del tiempo					
	PDOLS	t	PDOLS	t	PDOLS	t	PDOLS	t	PDOLS	t	PDOLS	t
Glb	-2.42	-2.42	0.59	13.67	5.20	3.75	-3.29	-2.43	-0.13	9.27	5.96	7.76
ELIC	14.63	8.58	1.19	1.68	4.73	2.70	1.42	3.99	1.02	3.22	15.95	7.21
LIC	-7.92	-2.03	1.31	8.28	-0.02	1.25	-24.6	-4.98	0.11	1.48	17.74	3.18
MLIC	8.11	-2.16	1.00	10.31	-7.51	-1.63	8.07	-0.29	-0.02	7.21	-5.87	4.09
MHIC	-1.80	-8.30	0.96	12.34	0.08	-0.02	1.31	0.32	0.28	7.88	2.34	-0.08
HIC	0.35	3.90	0.01	-5.95	22.34	3.45	-0.86	-3.74	-1.78	0.73	2.03	3.84

Nota: *, **, *** indican rechazo al nivel de 5%,10%,1% respectivamente para $H_0:\beta_i = 1$

Finalmente en la quinta fase, se estimó las relaciones de causalidad tipo Granger (1988) para datos de panel formalizado en la Ecuación (6). Se utilizó la estrategia de Dumitrescu & Hurlin (2012) para encontrar la existencia y dirección de la causalidad.

La Tabla 9 muestra que existe causalidad unidireccional entre la urbanización y las emisiones de CO2 (URB→CO2) en los ELIC. El consumo de energía causa unidireccionalmente a las emisiones de CO2 en

los HIC (ENERG→CO2). Las emisiones de CO2 causan unidireccionalmente al capital humano (CO2→CH) a nivel global. Existe una causalidad bidireccional entre las emisiones de CO2 y el capital Humano en los HIC. Finalmente hay una causalidad unidireccional entre el capital humano y las emisiones de CO2 en los ELIC (CH→CO2). Estos resultados coinciden con los obtenidos por (Kasmana & Duman, 2015; Ahmed et al. 2016; Wang et al. 2016; Wang et al. 2017).

Tabla 9. Resultados de pruebas de causalidad Dumitrescu & Hurlin (2012)

Dirección de causalidad	Grupo	W-bar	Z-bar	p-valor
$CO2_{i,t} \rightarrow URB_{i,t}$	GLOBAL	0.9169	-0.6275	0.5303
	ELIC	0.5605	-12.815	0.2000
	LIC	0.9539	-0.1597	0.8731
	MLIC	10.787	0.2610	0.7941
	MHIC	0.8187	-0.6662	0.5053
	HIC	10.945	0.3275	0.7433
$URB_{i,t} \rightarrow CO2_{i,t}$	GLOBAL	12.285	17.254	0.0845
	ELIC	26.758	48.859	0.0000
	LIC	0.6223	-13.085	0.1907
	MLIC	0.9760	-0.0797	0.9365
	MHIC	12.867	10.535	0.2921
	HIC	0.9756	-0.0845	0.9327
$CO2_{i,t} \rightarrow ENERGI_{i,t}$	GLOBAL	10.553	0.4177	0.6762
	ELIC	11.465	0.4270	0.6694
	LIC	0.9738	-0.0908	0.9276
	MLIC	11.171	0.3883	0.6978
	MHIC	0.8035	-0.7221	0.4702
	HIC	12.990	10.359	0.3002
$ENERGI_{i,t} \rightarrow CO2_{i,t}$	GLOBAL	12.078	15.687	0.1167
	ELIC	0.7000	-0.8747	0.3817
	LIC	11.251	0.4335	0.6647
	MLIC	13.015	0.9999	0.3174
	MHIC	10.116	0.0425	0.9661
	HIC	17.850	27.193	0.0065
$CO2_{i,t} \rightarrow CHI_{i,t}$	GLOBAL	0.6341	-27.624	0.0057
	ELIC	0.4542	-15.912	0.1116
	LIC	0.6279	-12.891	0.1974
	MLIC	0.9194	-0.2674	0.7891
	MHIC	0.6762	-11.898	0.2341
	HIC	0.4589	-18.743	0.0609
$CHI_{i,t} \rightarrow CO2_{i,t}$	GLOBAL	12.153	16.252	0.1041
	ELIC	19.377	27.339	0.0063
	LIC	13.402	11.784	0.2386
	MLIC	14.835	16.036	0.1088
	MHIC	11.750	0.6429	0.5203
	HIC	0.3780	-21.545	0.0312

5. Conclusiones e implicaciones de política

La presente investigación analiza la relación causal entre las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂, urbanización, consumo de energía eléctrica y el capital humano en 114 países a nivel mundial durante el período 1986-2016. Se utilizaron técnicas actuales de cointegración y causalidad para datos de panel: la prueba de cointegración de Pedroni (1999) para estimar el equilibrio de largo plazo, y corrección de error de Westerlund (2007) para determinar el equilibrio de corto y largo plazo, el método PDOLS y DOLS de Pedroni (2001) para estimar la fuerza del vector de cointegración, y la prueba de causalidad de Dumitrescu & Hurlin (2012) para verificar la existencia y dirección de causalidad entre las parejas de variables.

Los resultados obtenidos indican que a nivel global la urbanización, el consumo de energía eléctrica tienen un efecto positivo en las emisiones de CO₂, siendo estadísticamente significativos al 0.1%, mientras que el capital humano tiene un efecto positivo pero no es estadísticamente significativo. Mientras que en los grupos de países LIC la urbanización tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo en las emisiones de CO₂. En los ELIC, MLIC, MHIC y HIC el consumo de energía eléctrica tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo en las emisiones de CO₂. Los responsables de política económica deben considerar el mejoramiento de la estructura de la industria junto con una mayor eficiencia en el uso de la energía haciendo así más efectivo el mejoramiento de la calidad del aire en el ambiente. Los gobiernos deberían ajustar sus políticas fiscales para apoyar construcción ecológica en las zonas más urbanizadas, la industria junto con la urbanización, son una fuente importante del consumo de energía y de emisiones de CO₂, debe hacerse énfasis en priorizar el desarrollo de la industria con baja intensidad energética y de industrias con productos de alto valor agregado que son competitivas internacionalmente, acelerando la eliminación de equipos y tecnología de producción obsoleta y fomentar la innovación tecnológica de la industria.

Además, se debe promover el ahorro de consumo de energía, el transporte es un factor significativo en las emisiones de CO₂, por lo que se debería promover en los países con mayores emisiones, un transporte de alta eficiencia energética. Así mismo, los gobiernos deberían impulsar el desarrollo y el uso de energías no renovables, ya que son no contaminantes, se requiere que cada país analice su estructura de uso de energía con el fin de optimizarla e involucrar la energía no renovable. Zhang, Yang, Sun & Wu (2010) encuentran que la mejora de la tecnología, el ajuste de las estructuras industriales y energéticas, y los comportamientos respetuosos con el medio ambiente y los patrones de consumo de los habitantes juegan un papel importante en la mitigación de las emisiones de CO₂. Meng et al. (2015).

Al – Mulali (2012) propone que se examinen los requisitos para que la inversión extranjera promueva la protección del medio ambiente y aumente la transferencia de tecnología a través de empresas extranjeras para reducir el daño ambiental. Franco, Mandla & Rao (2017) recomiendan que para reducir las intensidades de energía y emisiones, se debe tomar en cuenta las disparidades económicas regionales, así a las regiones con mayor crecimiento económico se les pueden asignar objetivos de reducción de la intensidad energética más elevados. Por otra parte Raggad (2018) sugiere la mejora de la eficiencia, la frugalidad en el consumo de energía y, especialmente, aumentar la participación de las energías renovables en la combinación energética total. Meng, Jing & Mander (2016) sugieren que para mitigar las futuras emisiones de CO₂ de la industria de la energía eléctrica se debería optimizar la estructura de las exportaciones industriales y aumentar su concienciación sobre el aumento del consumo de electricidad en los hogares. La presente investigación presenta algunas limitaciones en cuanto a literatura existente sobre emisiones de CO₂ para países de Latinoamérica, además la falta de datos limitó realizar un análisis de cointegración para más países.

Referencias bibliográficas

- [1] Acheampong, A. O. (2018). Economic growth, CO₂ emissions and energy consumption: What causes what and where?. *Energy Economics*, 74, 677-692.
- [2] Adom, P. K., Kwakwa, P. A., & Amankwaa, A. (2018). The long-run effects of economic, demographic, and political indices on actual and potential CO₂ emissions. *Journal of environmental management*, 218, 516-526.
- [3] Ahmed, K., & Long, W. (2012). Environmental Kuznets curve and Pakistan: an empirical analysis. *Procedia Economics and Finance*, 1, 4-13.
- [4] Ahmed, K., Rehman, M. U., & Ozturk, I. (2017). What drives carbon dioxide emissions in the long-run? Evidence from selected South Asian Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1142-1153.
- [5] Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- [6] Alam, M. M., Murad, M. W., Noman, A. H. M., & 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.
- [7] Al-mulali, U. (2012). Factors affecting CO₂ emission in the Middle East: A panel data analysis. *Energy*, 44(1), 564-569.
- [8] Alvarado, M. & Ortiz, C. (2018). El rol del capital humano en los ingresos de las provincias de Ecuador. *Revista Vista Económica*, Vol.4, 120-129.
- [9] Alvarado, R., & Atienza, M. (2014). The role of market access and human capital in regional wage disparities: Empirical evidence for Ecuador (No. 50). *Universidad Católica del Norte, Chile, Department of Economics*.
- [10] 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.
- [11] Alvarado, R., Ponce, P., Alvarado, R., Ponce, K., Huachizaca, V., & Toledo, E. (2019). Sustainable and non-sustainable energy and output in Latin America: A cointegration and causality approach with panel data. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100369.
- [12] Balaguer, J., & Cantavella, M. (2018). The role of education in the Environmental Kuznets Curve. Evidence from Australian data. *Energy Economics*, 70, 289-296.
- [13] Banco Mundial (2018). World Development Indicators. Washington D:C. Disponible en línea.
- [14] Behera, S. R., & Dash, D. P. (2017). The effect of urbanization, energy consumption, and foreign direct investment on the carbon dioxide emission in the SSEA (South and Southeast Asian) region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 96-106.
- [15] Boamah, K. B., Du, J., Boamah, A. J., & Appiah, K. (2018). A study on the causal effect of urban population growth and international trade on environmental pollution: evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5862-5874.

- [16] Breitung, J. (2001). The local power of some unit root tests for panel data. In *Nonstationary panels, panel cointegration, and dynamic panels* (pp. 161-177). Emerald Group Publishing Limited.
- [17] Cai, Y., Sam, C. Y., & Chang, T. (2018). Nexus between clean energy consumption, economic growth and CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, 182, 1001-1011.
- [18] Cruz, J., & Maldonado, L. (2017). Incidencia del ingreso familiar y la educación en el acceso a la canasta básica familiar en Ecuador. *Revista Vista Económica*, Vol.3, 19-31.
- [19] Cumbicus, M., & Tillaguango, B. (2017). Efecto del capital humano en la desigualdad: evidencia empírica para 17 países de América Latina. *Revista Vista Económica*, Vol.3, 53-62.
- [20] Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1057-1072.
- [21] Ding, Y., & Li, F. (2017). Examining the effects of urbanization and industrialization on carbon dioxide emission: Evidence from China's provincial regions. *Energy*, 125, 533-542.
- [22] Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460.
- [23] Enders, W. (2008). *Applied econometric time series*. John Wiley Sons.
- [24] Franco, S., Mandla, V. R., & Rao, K. R. M. (2017). Urbanization, energy consumption and emissions in the Indian context A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 898-907.
- [25] Godoy, J. (2017). Dinero electrónico y su afección en el capital humano: visión regional en Ecuador. *Revista Vista Económica*, Vol.3, 74-86.
- [26] Godoy, J. (2018). Urbanización e industrialización en Ecuador. *Revista Vista Económica*, Vol.4, 46-57.
- [27] Granger, C. W. (1988). Causality, cointegration, and control. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 551-559.
- [28] Guarnizo, S. (2018). Relación entre capital humano y crecimiento económico de Colombia. *Revista Vista Económica*, Vol.4, 19-31.
- [29] Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1251-1271.
- [30] 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.
- [31] Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1551-1580.
- [32] 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.
- [33] Klein-Banai, C., & Theis, T. L. (2013). Quantitative analysis of factors affecting greenhouse gas emissions at institutions of higher education. *Journal of Cleaner Production*, 48, 29-38.
- [34] Lee, J. W., & Lee, H. (2016). Human capital in the long run. *Journal of Development Economics*, 122, 147-169.
- [35] León, J. (2018). Relación entre el capital humano y el crecimiento económico en Bolivia, mediante técnicas de cointegración. *Revista Vista Económica*, Vol.4, 94-106.
- [36] 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.
- [37] Li, X., Tan, H., & Rackes, A. (2015). Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university campus in China. *Journal of Cleaner Production*, 106, 97-108.
- [38] Meng, J., Liu, J., Guo, S., Li, J., Li, Z., & Tao, S. (2016). Trend and driving forces of Beijing's black carbon emissions from sectoral perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1272-1281.
- [39] Meng, M., Jing, K., & Mander, S. (2017). Scenario analysis of CO2 emissions from China's electric power industry. *Journal of cleaner production*, 142, 3101-3108.
- [40] Mirzaei, M., & Bekri, M. (2017). Energy consumption and CO2 emissions in Iran, 2025. *Environmental research*, 154, 345-351.
- [41] Mora, E. (2017). ¿Es importante el gasto público para aumentar el capital humano a nivel global mediante la aplicación de datos de panel? *Revista Vista Económica*, Vol.3, 42-52.
- [42] Olaya, E. (2017). Efectos del gasto en investigación y desarrollo en el ingreso de los establecimientos de Ecuador. *Revista Vista Económica*, Vol.3, 7-18.
- [43] Ouyang, X., & Lin, B. (2017). Carbon dioxide (CO2) emissions during urbanization: a comparative study between China and Japan. *Journal of cleaner production*, 143, 356-368.
- [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). Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels. In *Nonstationary panels, panel cointegration, and dynamic panels* (pp. 93-130). Emerald Group Publishing Limited.
- [46] Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1998). An autoregressive distributed-lag modelling approach to cointegration analysis. *Econometric Society Monographs*, 31, 371-413.
- [47] Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of applied econometrics*, 16(3), 289-326.
- [48] Phillips, P. C., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.
- [49] Ponce, P., & Alvarado, R. (2019). Air pollution, output, FDI, trade openness, and urbanization: evidence using DOLS and PDOLS cointegration techniques and causality. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(19), 19843-19858.
- [50] Poumanyvong, 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.
- [51] Rafiq, S., Salim, R., & Nielsen, I. (2016). Urbanization, openness, emissions, and energy intensity: a study of increasingly urbanized emerging economies. *Energy Economics*, 56, 20-28.
- [52] Raggad, B. (2018). Carbon dioxide emissions, economic growth, energy use, and urbanization in Saudi Arabia: evidence from the ARDL approach and impulse saturation break tests. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15), 14882-14898.

- [53] Robinson, O., Kemp, S., & Williams, I. (2015). Carbon management at universities: a reality check. *Journal of Cleaner Production*, 106, 109-118.
- [54] Salahuddin, M., Alam, K., Ozturk, I., & 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*.
- [55] Sarango, D. (2018). Análisis de la relación entre el consumo de energía y las emisiones de carbono en Ecuador. *Revista Vista Económica*, Vol.4, 32-45.
- [56] Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A. T., Ahmed, K., & Jabran, M. A. (2016). How urbanization affects CO2 emissions in Malaysia? The application of STIRPAT model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 83-93.
- [57] Versteijlen, M., Salgado, F. P., Groesbeek, M. J., & Counotte, A. (2017). Pros and cons of online education as a measure to reduce carbon emissions in higher education in the Netherlands. *Current opinion in environmental sustainability*, 28, 80-89.
- [58] Wang, P., Wu, W., Zhu, B., & Wei, Y. (2013). Examining the impact factors of energy-related CO2 emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China. *Applied Energy*, 106, 65-71.
- [59] Wang, Q., Su, M., Li, R., & Ponce, P. (2019). The effects of energy prices, urbanization and economic growth on energy consumption per capita in 186 countries. *Journal of cleaner production*, 225, 1017-1032.
- [60] Wang, Q., Zeng, Y. E., & Wu, B. W. (2016). Exploring the relationship between urbanization, energy consumption, and CO2 emissions in different provinces of China. *Renewable and sustainable energy reviews*, 54, 1563-1579.
- [61] Wang, S., Li, G., & Fang, C. (2017). Urbanization, economic growth, energy consumption, and CO2 emissions: Empirical evidence from countries with different income levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [62] Martínez-Zarzoso, I., & Maruotti, A. (2011). The impact of urbanization on CO2 emissions: evidence from developing countries. *Ecological Economics*, 70(7), 1344-1353.
- [63] Wang, Y., Chen, L., & Kubota, J. (2016). The relationship between urbanization, energy use and carbon emissions: evidence from a panel of Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1368-1374.
- [64] Wang, Y., Chen, W., Kang, Y., Li, W., & Guo, F. (2018). Spatial correlation of factors affecting CO2 emission at provincial level in China: A geographically weighted regression approach. *Journal of Cleaner Production*, 184, 929-937.
- [65] Wang, Y., & Zhao, T. (2018). Impacts of urbanization-related factors on CO2 emissions: Evidence from China's three regions with varied urbanization levels. *Atmospheric Pollution Research*, 9(1), 15-26.
- [66] Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 69(6), 709-748.
- [67] Wooldridge, J. M. (1991). On the application of robust, regression-based diagnostics to models of conditional means and conditional variances. *Journal of econometrics*, 47(1), 5-46.
- [68] Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT press.
- [69] Wu, Y., Shen, J., Zhang, X., Skitmore, M., & Lu, W. (2016). The impact of urbanization on carbon emissions in developing countries: a Chinese study based on the U-Kaya method. *Journal of Cleaner Production*, 135, 589-603.
- [70] Xu, S. C., He, Z. X., & Long, R. Y. (2014). Factors that influence carbon emissions due to energy consumption in China: Decomposition analysis using LMDI. *Applied Energy*, 127, 182-193.
- [71] Zhang, N., Yu, K., & Chen, Z. (2017). How does urbanization affect carbon dioxide emissions? A cross-country panel data analysis. *Energy Policy*, 107, 678-687.
- [72] Zhang, Q., Yang, J., Sun, Z., & Wu, F. (2017). Analyzing the impact factors of energy-related CO2 emissions in China: What can spatial panel regressions tell us?. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1085-1093.