

Consumo de energía, crecimiento económico y urbanización: Evidencia empírica para grupos de países con diferentes niveles de ingreso

Sharon Macas¹, Roberto Erazo²

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

Fecha de recepción: Febrero 2019. Fecha de aceptación: Junio 2019

Resumen

El objetivo de esta investigación es determinar la relación entre el consumo de energía, el PIB per cápita y la urbanización. Los países fueron clasificados de acuerdo al nivel de ingreso nacional bruto per cápita para capturar las diferencias entre países. Utilizamos técnicas de cointegración de Pedroni (1999) y de corrección de error de Westerlund (2007) y de causalidad Dumitrescu & Hurlin (2012) para evaluar la relación entre las variables. Con el fin de evaluar la fuerza del vector de cointegración de corto y largo plazo, aplicamos 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 demuestran la relación de equilibrio de largo y corto plazo entre el consumo de energía, el PIB per cápita y la urbanización. En la estimación de la fuerza del vector determinamos que, en los grupos de países por ingresos altos, por ingresos medios bajos y por ingresos extremadamente bajos, el consumo de energía de los hogares depende altamente de la variable PIB per cápita. Por otro lado, se determinó que en los grupos de países por ingresos medios altos, por ingresos medios bajos y por ingresos bajos, el consumo de energía de los hogares depende altamente de la urbanización. Finalmente, determinamos la existencia de causalidad bidireccional tanto para el consumo de energía y el producto interno bruto per cápita, como para el consumo de energía y la urbanización.

Palabras clave: Consumo de energía; Crecimiento Económico; Urbanización

Códigos JEL: B28. F15. F43. Q4.

Energy consumption, economic growth and urbanization: Empirical evidence for groups of countries with different income levels

Abstract

The objective of this research is to determine the relationship between energy consumption, GDP per capita and urbanization. The countries were classified according to the level of gross national income to capture the differences between countries. Technical cointegration techniques by Pedroni (1999) and correction of error by Westerlund (2007) and causality by Dumitrescu & Hurlin (2012) to evaluate the relationship between the variables. In order to assess the strength of the short and long term cointegration vector, we applied the dynamic panel ordinary least squares method for individual countries and the dynamic ordinary least squares model for groups of countries. The results control the long-term and short-term equilibrium relationship between energy consumption, GDP per capita and urbanization. In estimating the strength of the given vector, in the high-income, low-middle-income, and extremely low-income country groups, household energy consumption is highly dependent on the GDP per capita variable. On the other hand, it was determined that in the upper middle income, lower middle income and low income country groups, the energy consumption of households highly dependent on urbanization. Finally, we determine the existence of bidirectional causality both for energy consumption and gross domestic product for the population, as well as for energy consumption and urbanization.

keywords: Energy consumption; Economic growth; Urbanization

JEL codes: B28. F15. F43. Q4.

¹Autor: Sharon Macas. Universidad Nacional de Loja. La Argelia. Correo electrónico: sharon.macas@unl.edu.ec

²Coautor: Roberto Erazo. Universidad Nacional de Loja. La Argelia. Correo electrónico: roberto.erazo@unl.edu.ec

1. Introducción

El consumo energético a nivel mundial mantiene una tendencia creciente, dado, principalmente por el desarrollo urbano. La urbanización de las sociedades se da gracias al crecimiento económico, y esto genera un cambio estructural productivo, pasando de economías basadas en el sector agrícola al desarrollo de sectores terciarios e industriales, basados en procesos tecnológicos. Esta transición tecnológica conlleva a un incremento del consumo energético por parte de las nuevas industrias generadas. Según datos del Banco Mundial, la tendencia del consumo de energía es creciente en la mayoría de los países, en el año 1970 este fue de 1.199,372 kWh per cápita pasando a ser de 3.125, 329 kWh per cápita en el 2014, aumentando más del 100% durante este periodo. Mientras que el crecimiento de la población urbana ha ido decreciendo, pasando de un 2,62% en 1970, a un 2,10% en 2014. Bakirtas (2018), en su investigación para el periodo 1971-201, determina que el crecimiento económico y la urbanización son factores cruciales que determinan el consumo de energía, a más de que para los países analizados no sólo aumentaron las tasas de consumo de energía sino también las de urbanización. Zhao & Wang (2015), investigaron las relaciones causales entre la urbanización, el crecimiento económico y el consumo de energía en China durante el periodo 1980-2012; y obtuvo una relación causal bidireccional de Granger entre el consumo de energía y el crecimiento económico, y la causalidad unidireccional que va desde la urbanización hasta el consumo de energía y el crecimiento económico hasta la urbanización.

En este contexto, el objetivo de esta investigación es determinar la relación entre el consumo de energía, el producto interno bruto (PIB) per cápita y la urbanización en 121 países durante el periodo 1980-2016. Para lo cual, planteamos un conjunto de técnicas econométricas modernas de datos de panel. Utilizamos un modelo de regresión mediante Mínimos Cuadrados Generalizados (GLS) en datos de panel para verificar la dirección de la relación entre las variables. Además, verificamos la relación de corto y largo plazo, utilizamos el modelo de cointegración de Pedroni (1999) para determinar el equilibrio de largo plazo y el modelo de corrección de Westerland (2007) para encontrar el equilibrio de corto plazo entre las parejas de variables. La literatura empírica que investiga el nexo causal entre las fuentes de energía: sustentable y no sustentable con el producto han ignorado el rol de la fuerza del vector de cointegración para los grupos de países. En consecuencia, la fuerza del vector de cointegración de forma individual fue obtenida mediante un modelo de panel de mínimos cuadrados ordinarios dinámicos (PDOLS).

Los resultados nos demuestran la relación de equilibrio de largo y corto plazo entre el consumo de energía, el PIB per cápita y la urbanización. En la estimación de la fuerza del vector determinamos que en los grupos de países HIC, MLIC y ELIC, el consumo de energía de los hogares depende altamente de la variable PIB per cápita. Mientras que sólo en la estimación del modelo PDOLS, se determinó que en los grupos de países MHIC, MLIC y LIC, el consumo de energía de los hogares depende altamente de la urbanización. Finalmente, determinamos la existencia de causalidad bidireccional tanto como para el consumo de energía y el PIB per cápita ($ENRC \leftrightarrow Y$), como para el consumo de energía y la urbanización ($ENRC \leftrightarrow URB$). Nuestro aporte a la literatura previa se encuentra en la clasificación realizada por grupos de países según sus niveles de ingresos, de los 121 países analizados, los clasificamos en 6 grupos. A más de aportar a la poca evidencia existente, en las que se analiza la relación entre el consumo de energía, el PIB per cápita y la urbanización.

El resto de este trabajo tiene la siguiente estructura. La segunda sección contiene la revisión de literatura previa sobre el nexo entre el consumo de energía, el producto interno bruto y la urbanización. La tercera sección describe las fuentes estadísticas y plantea la estrategia econométrica. La cuarta sección reporta los resultados, los cuales

son discutidos con la literatura previa. En la quinta sección constan las conclusiones de la investigación y las posibles implicaciones de política.

2. Revisión y literatura previa

En los últimos años, se han realizado estudios empíricos generalizados sobre la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico o el consumo de energía y el CO₂ para las economías desarrolladas y en desarrollo. Sin embargo, los estudios que miden la relación entre el consumo de energía, la urbanización y el crecimiento económico son bastante limitados. Liu (2009), desarrolló una función de consumo de energía, crecimiento de la población, crecimiento económico y proceso de urbanización para China durante el periodo 1978-2008 mediante el uso del enfoque de prueba ARDL y el modelo de descomposición de factores, y demostró que existe una relación estable a largo plazo entre el consumo total de energía, la población, el PIB y el nivel de urbanización cuando el consumo total de energía es la variable dependiente, y solo existía una causalidad Granger unidireccional desde la urbanización hasta el consumo total de energía tanto a largo como a corto plazo. Ghosh & Kanjilal (2014), examinaron la relación de cointegración entre el consumo de energía, la urbanización y la actividad económica en la India utilizando pruebas de umbral de cointegración para el periodo 1971-2008; y encontró la causalidad unidireccional que va del consumo de energía a la actividad económica y la actividad económica a la urbanización.

Zhao & Wang (2015) investigaron las relaciones causales entre la urbanización, el crecimiento económico y el consumo de energía en China durante el periodo 1980-2012; y obtuvo una relación causal bidireccional de Granger entre el consumo de energía y el crecimiento económico, y la causalidad unidireccional que va desde la urbanización hasta el consumo de energía y el crecimiento económico hasta la urbanización. Bakirtas (2018) investiga la relación causal entre el consumo de energía, la urbanización y el crecimiento económico utilizando la prueba de causalidad Granger del panel Dumitrescu & Hurlin (2012) para el periodo 1971-2014 en nuevos países de mercados emergentes. Según el análisis existe una causalidad en el panel de Granger desde el crecimiento económico hasta el consumo de energía, y desde la urbanización hasta el consumo de energía y el crecimiento económico. Koenkan (2017) analiza la relación entre consumo de energía, crecimiento económico y urbanización mediante un panel de veintinueve países de América Latina y el Caribe durante un periodo de 1980 a 2014. Utilizando el *Panel Data Vector Autoregressive (PVAR)* los resultados muestran que existe una relación unidireccional entre la urbanización y el consumo de energía y un nexo bidireccional entre el crecimiento económico y el consumo de energía en la región de América Latina y el Caribe.

Chong & Song (2015), examinaron los factores de influencia del consumo de energía en la provincia de Guangdong de China empleando el método de descomposición del índice de divisiones medias logarítmicas I (LMDI). Si bien el crecimiento y la población del PIB per cápita son los principales factores que impulsan el crecimiento del consumo de energía, la mejora en la eficiencia es el principal factor que reduce el crecimiento del consumo de energía. Narayan (2015) evalúa el nexo entre el consumo de energía y el crecimiento económico mediante un modelo de panel de regresión predictiva de datos. Un panel de 32 países de ingresos medios bajos sugiere que el consumo de energía per cápita predice el PIB real per cápita. Osorio & Coley (2016), investigaron la relación entre las características de forma urbana seleccionadas y el consumo de energía en Inglaterra, y encontró que algunas medidas muestran poca correlación con el consumo de energía, mientras que otras medidas de densidad muestran una relación de escala significativa. Shahbaz & Lean (2012), evaluaron la relación entre consumo de energía, desarrollo financiero, crecimiento económico, industrialización y urbanización en Túnez desde 1971-2008 y confirmaron la existencia de una relación a

largo plazo entre el consumo de energía, el crecimiento económico, el desarrollo financiero, la industrialización y la urbanización. Shahbaz et al (2015) investiga la relación entre la urbanización y el consumo de energía en el caso de Pakistán. Empleando el enfoque de prueba de límites ARDL para la y el enfoque de causalidad VECM Granger muestran que la urbanización aumenta el consumo de energía y que existe una causalidad unidireccional que va desde la urbanización hasta el consumo de energía.

3. Datos y metodología

3.1. Datos

Los datos utilizados en esta investigación provienen de los Indicadores de Desarrollo del Banco Mundial (2017). Siguiendo la literatura empírica previa (Bakirtas, 2018; Zhao & Wang, 2015), la variable dependiente es el consumo de energía medido en kWh per capita y las vari-

ables independientes son el PIB per capita; en dólares constantes del 2010 y la población urbana, a los cuales seguidamente se les aplicó logaritmos. El periodo tomado para el análisis es entre 1980 y 2016 con una cobertura para 121 países a nivel mundial que disponen datos de las tres variables. La intensidad del consumo de energía difiere entre los países de acuerdo con la actividad económica y el nivel de desarrollo. En este sentido, los países fueron clasificados en seis grupos de acuerdo con al nivel de ingreso nacional bruto per cápita, Estos son países por: ingresos extremadamente altos (EHIC), ingresos altos (HIC), ingresos medios-altos (MHIC), ingresos medios-bajos (MLIC), ingresos bajos (LIC) e ingresos extremadamente bajos (ELIC). En el Anexo 1 se presentan los países y nivel de ingreso para cada grupo.

La Tabla 1 muestra los estadísticos descriptivos de las variables utilizadas. Las tres variables de análisis forman un panel balanceado en tiempo y espacio con 4477 observaciones. El consumo de energía, el PIB per cápita y la urbanización son más estables en el tiempo que entre países. La desviación estándar sugiere que existe menor variabilidad dentro de los países que entre ellos.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las variables

Variable		Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Observaciones
Log (Consumo de Energía)	General	7.17	1.69	2.52	10.91	N = 4477
	Entre		1.65	3.34	10.09	n = 121
	Dentro		0.38	5.42	8.55	T = 37
Log (PIB per capita)	General	8.56	1.5	4.88	11.64	N = 4477
	Entre		1.47	5.47	11.25	n = 121
	Dentro		0.29	6.93	10.06	T = 37
Log (Urbanización)	General	15.56	1.59	11.55	20.47	N = 4477
	Entre		1.56	11.55	19.83	n = 121
	Dentro		0.31	14.13	16.91	T = 37

3.2. Estrategia Econométrica

La estrategia econométrica se divide en cinco etapas. En la primera etapa, planteamos un modelo básico de regresión con datos de panel, donde la variable dependiente es el consumo de energía del país en el periodo t ($enrc_{i,t}$) y las variables independientes son el producto interno bruto y la urbanización. La Ecuación (1) formaliza esta relación y fue estimada utilizando regresiones Mínimos Cuadrados Generalizados (GLS):

$$enrc_{i,t} = (\alpha_0 + \beta_0) + \gamma_1 \gamma_{i,t} + \gamma_2 urb_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

En la segunda etapa, siguiendo a Maddala & Wu (1999), aplicamos la prueba de la razón unitaria mediante los test de Dickey & Fuller Aumentado (1981) y el test 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 Ecuación (2). Aquí, ($enrc_t$) es la variable para verificar la existencia de raíz unitaria. El número de rezagos de la serie es determinado mediante al criterio de información de Akaike (1974). Los resultados obtenidos mediante el test ADF y PP son contrastados con los resultados obtenidos mediante los tests de Levine, Lin & Chu (2002), Im, Pesaran & Shin (2003) y Breitung (2000).

$$enrc_t = \alpha_0 + \lambda enrc_{t-1} + \alpha_1 t + \sum_{i=2}^p \beta_j enrc_{t-i-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

La tercera etapa contiene dos partes. Primero, con el fin de deter-

minar la existencia de una relación de largo plazo entre las tres variables, usamos el test de cointegración desarrollado por Pedroni (1999), el cual puede ser estimado a partir de la siguiente ecuación:

$$enrc_{i,t} = \alpha_i + \sum_{j=1}^{n-1} \beta_{ij} X_{it-j} + \sum_{j=1}^{n-1} \omega_{1j} enrc_{i,t-j} + \pi_i ECT_{t-1} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

La segunda parte 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 el test de corrección de error de Westerlund (2007) en base de la siguiente ecuación:

$$enrc_{i,t} = \delta_i d_t + \alpha_i (enrc_{i,t-1} - \beta'_i X_{i,t-1}) + \sum_{j=1}^{p_i} \alpha_{ij} enrc_{i,t-j} + \sum_{j=-q_i}^{p_i} \gamma_{ij} X_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

En la cuarta etapa, utilizamos el planteamiento de Pedroni (2001), 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 para la región en su conjunto o para los grupos de países clasificados de acuerdo a su nivel de ingreso nacional bruto per cápita. Esto se lo realiza 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:

$$enrc_{i,t} = \alpha_i \beta_i X_{i,t} + \sum_{j=-p}^p enrc_{i,t} \Delta X_{i,t-j} + \mu_{i,t} \quad (5)$$

El estimador PDOLS de Pedroni (2001) se promedia a lo largo de la dimensión entre los grupos (Neal, 2014). 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:

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

El test de causalidad es verificado entre pareja de variables de forma separada. Esto implica que la relación y la dirección de causalidad se verifican primero entre el consumo de energía y el producto interno bruto per capita. Luego, estimamos la relación de causalidad entre el consumo de energía y la urbanización. 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. La siguiente sección muestra los resultados obtenidos al aplicar las cuatro etapas de la estrategia econométrica.

4. Discusión de resultados

Primero, aplicamos el test de Hausman (1978), el cual verifica que existe una diferencia sistemática de los estimadores de efectos fijos y aleatorios ($\gamma_{FE} - \gamma_{RE}$) y es estadísticamente diferente de cero sólo en el caso de los PIB. En consecuencia, existe mayor consistencia en el uso de efectos fijos para estimar las regresiones. Aplicamos la prueba de Wooldridge (1991), con la cual determinamos que existe autocorrelación entre las variables para todas las clasificaciones de países, así mismo verificamos la existencia de heteroscedasticidad. Estimamos las regresiones a través de regresiones GLS siguiendo a Wooldridge (2002) como fue planteado en la metodología. En las regresiones GLS no fue incluido el efecto fijo de tiempo ni de los países, porque el test de Hausman (1978) indica que la diferencia en los coeficientes es no sistemática. Además, las regresiones indican que el PIB per capita tiene un efecto positivo en el consumo de energía, así mismo sucede con la urbanización, con excepción en los HIC, siendo todos los coeficientes estadísticamente significativos a nivel de 0,01, excepto la urbanización en los HIC y los MHIC. La Tabla 2 muestra los resultados de la estimación de la Ecuación (1). En los HIC el efecto del PIB per cápita es mucho mayor que en el resto de grupos de países. En el caso de la urbanización el efecto es mayor para los ELIC.

Tabla 2. Resultados de las regresiones de línea base GLS

	GLOBAL	EHIC	HIC	MHIC	MLIC	LIC	ELIC
log(PIB)	0,85*** (95,64)	0,51*** (8,42)	0,85*** (22,97)	0,62*** (15,85)	0,54*** (13,20)	0,68*** (16,87)	0,53*** (10,40)
Log(urbanización)	0,07*** (8,98)	0,10*** (5,69)	-0,03 (-1,48)	0,02 (1,33)	0,06** (2,73)	0,21*** (7,48)	0,30*** (10,80)
Constante	-1,32*** (-8,69)	2,13** (2,81)	0,34 (0,76)	1,87*** (3,87)	1,48** (3,11)	-2,15*** (-4,25)	-3,43*** (-6,47)
Test de Hausman	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
Test de correlación serial	0,95	0,95	0,96	0,94	0,93	0,96	0,96
Efectos fijos (tiempo)	No	No	No	No	No	No	No
Efectos fijos (país)	No	No	No	No	No	No	No
Observaciones	4477	518	703	703	777	999	777

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

Siguiendo a Mandala & Wu (1999), se aplicó la prueba no paramétrica de raíz unitaria tipo Fisher basada en el test ADF de Dickey & Fuller Aumentado (1981) y el test 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 de 0,01, excepto la variable urbanización en los grupos LIC y ELIC. Con el fin de asegurar la robustez de los valores estimados, aplicamos los test 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.

Para la determinación de la relación de equilibrio entre las tres variables usando técnicas de cointegración para datos de panel aplicamos el test de Pedroni (1999) para determinar el equilibrio en el largo plazo. Los resultados de las pruebas de cointegración indican que el consumo de energía, el producto interno bruto per capita y la urbanización tienen una relación de equilibrio de largo plazo. Tal como en Shahbaz & Lean (2012), confirmaron la existencia de una relación a largo plazo entre el consumo de energía, el crecimiento económico, el desarrollo financiero, la industrialización y la urbanización en un estudio aplicado a Túnez.

Tabla 3. Resultados del test de cointegración de Pedroni

	GLOBAL	EHIC	HIC	MHIC	MLIC	LIC	ELIC
Estadísticas de prueba dentro de la dimensión							
Panel estadístico-v	-0,08	0,26	-0,67	-0,05	-0,65	0,30	0,09
Panel estadístico-p	-30,60**	-10,45**	-11,02**	-11,54**	-12,50**	-14,19**	-13,23**
Panel estadístico-PP	-53,04**	-17,24**	-19,07**	-18,97**	-21,42**	-25,12**	-25,14**
Panel estadístico-ADF	-40,02**	-16,01**	-16,39**	-14,05**	-16,24**	-15,51**	-19,81**
Estadísticas de prueba entre dimensiones							
Panel estadístico-p	-26,01**	-8,67**	-9,19**	-9,50**	-10,69**	-11,95**	-11,41**
Grupo estadístico-PP	-58,41**	-18,39**	-20,52**	-20,51**	-23,02**	-27,21**	-28,91**
Grupo estadístico-ADF	-39,71**	-16,85**	-15,03**	-13,24**	-15,47**	-15,06**	-21,75**

Segundo, realizamos las pruebas de cointegración en el corto plazo utilizando un modelo de error vectorial con datos de panel (VEC) desarrollado por Westerlund (2007). Se estima la Ecuación (4) de forma separada para la relación entre el consumo de energía y el producto interno per capita, y entre el consumo de energía y la urbanización respectiva-

mente. Similar a los resultados de las dos etapas previas, los resultados se reportan para toda la región en su conjunto y por grupos de países. Los resultados muestran la existencia de equilibrio en el corto plazo de acuerdo a los estadísticos significativos que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de las pruebas de cointegración de corto plazo de Westerlund

Grupo	Statistic	Valor	$Y_{i,t}$		$urb_{i,t}$		
			Z-value	p-value	Valor	Z-value	p-value
GLOBAL	Gt	-4,37	-27,70	0,000	-4,63	-31,23	0,000
	Ga	-41,41	-48,81	0,000	-38,48	-43,97	0,000
	Pt	-51,86	-33,34	0,000	-56,37	-38,59	0,000
	Pa	-38,71	-54,81	0,000	-38,92	-55,18	0,000
EHIC	Gt	-3,43	-5,01	0,000	-4,13	-8,29	0,000
	Ga	-37,84	-14,59	0,000	-36,41	-13,78	0,000
	Pt	-17,58	-11,27	0,000	-19,83	-13,89	0,000
	Pa	-37,21	-17,70	0,000	-42,28	-20,87	0,000
HIC	Gt	-4,56	-11,97	0,000	-4,04	-9,16	0,000
	Ga	-54,46	-27,89	0,000	-43,74	-20,86	0,000
	Pt	-16,18	-8,12	0,000	-18,88	-11,27	0,000
	Pa	-30,70	-15,86	0,000	-29,65	-15,10	0,000
MHIC	Gt	-4,16	-9,80	0,000	-4,55	-11,92	0,000
	Ga	-34,57	-14,85	0,000	-31,60	-12,91	0,000
	Pt	-17,04	-9,13	0,000	-18,52	-10,85	0,000
	Pa	-33,86	-18,18	0,000	-32,24	-16,99	0,000
MLIC	Gt	-4,38	-11,60	0,000	-4,91	-14,59	0,000
	Ga	-38,95	-18,64	0,000	-39,83	-19,24	0,000
	Pt	-17,43	-9,03	0,000	-20,36	-12,44	0,000
	Pa	-31,21	-17,07	0,000	-32,94	-18,40	0,000
LIC	Gt	-4,37	-13,03	0,000	-4,61	-14,58	0,000
	Ga	-38,96	-21,14	0,000	-34,25	-17,46	0,000
	Pt	-25,84	-17,31	0,000	-27,11	-18,79	0,000
	Pa	-40,40	-27,35	0,000	-37,82	-25,11	0,000
ELIC	Gt	-5,03	-15,31	0,000	-5,33	-17,02	0,000
	Ga	-43,82	-21,99	0,000	-45,43	-23,10	0,000
	Pt	-24,79	-17,99	0,000	-26,87	-20,02	0,000
	Pa	-44,51	-27,27	0,000	-47,78	-29,78	0,000

Siguiendo a Pedroni (2001) obtenemos la fuerza del vector de cointegración por grupos de países. La Tabla 5 reporta las estimaciones de los modelos de panel PDOLS sin efectos del tiempo. Determinamos que los HIC, ELIC y MLIC tienen un estimador cercano a 1 en la variable de producto, confirmando los resultados de los modelos DOLS, estos

países tienen tasas de crecimiento más altas de consumo de energía cuando aumenta el producto interno bruto per capita. Mientras que los MHIC, MLIC y LIC también presentan un estimador mayor a uno en la variable de urbanización, a diferencia de los resultados en el modelo DOLS.

Tabla 5. Resultados de pruebas de los modelos de panel PDOLS

Grupos	Sin dummy de tiempo			
	$y_{i,t}$		$urb_{i,t}$	
	PDOLS	Estadístico t	PDOLS	Estadístico t
GLOBAL	0,73	24,73	0,58	0,21
EHIC	0,44	6,72	-1,94	-6,75
HIC	0,65	13,46	-0,49	-4,11
MHIC	0,53	9,99	1,74	5,55
MLIC	0,99	11,01	2,38	1,72
LIC	0,53	9,99	1,74	5,55
ELIC	0,98	7,24	0,66	0,22

Finalmente, estimamos las relaciones de causalidad tipo Granger (1988) para datos de panel formalizado en la Ecuación (6). Usamos la estrategia de Dumitrescu Hurlin (2012) para encontrar la existencia de causalidad y la dirección de la causalidad. Los resultados obtenidos determinan que existe causalidad bidireccional el consumo de energía de

los hogares y el producto interno bruto per cápita (ENRC,<-> Y) en todas las clasificaciones de países en concordancia con Zhao Wang (2015) y Koengkan (2017). Asimismo, existe una causalidad bidireccional entre el consumo de energía de los hogares y la urbanización (ENRC<->URB) en todos los grupos de países. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de pruebas de causalidad Dumitrescu & Hurlin

Dirección de causalidad	Grupo	W-bar	Z-bar	p-valor
$enrc_{i,t} \rightarrow y_{i,t}$	GLOBAL	2,34	10,44	0,00
	EHIC	1,29	0,78	0,43
	HIC	2,33	4,10	0,00
	MHIC	3,45	7,55	0,00
	MLIC	1,84	2,75	0,01
	LIC	2,84	6,76	0,00
	ELIC	1,90	2,91	0,00
$y_{i,t} \rightarrow enrc_{i,t}$	GLOBAL	2,11	2,95	0,00
	EHIC	2,13	3,48	0,00
	HIC	3,84	8,78	0,00
	MHIC	3,57	8,32	0,00
	MLIC	8,62	28,02	0,00
	LIC	3,18	7,08	0,00
	ELIC	2,11	2,95	0,00
$enrc_{i,t} \rightarrow urb_{i,t}$	GLOBAL	3,41	18,74	0,00
	EHIC	2,03	2,72	0,00
	HIC	1,64	1,99	0,04
	MHIC	3,08	6,41	0,00
	MLIC	3,42	7,86	0,00
	LIC	2,13	3,48	0,00
	ELIC	5,56	14,77	0,00
$urb_{i,t} \rightarrow enrc_{i,t}$	GLOBAL	10,17	71,39	0,00
	EHIC	13,30	32,55	0,00
	HIC	9,67	26,73	0,00
	MHIC	4,11	9,60	0,00
	MLIC	14,87	44,97	0,00
	LIC	9,40	30,89	0,00
	ELIC	10,32	30,21	0,00

5. Conclusiones

La presente investigación examina la relación causal entre el consumo de energía, el producto interno bruto per capita y la urbanización en 121 países a nivel mundial los cuales disponen datos de las tres variables, durante el periodo 1980-2016. Utilizamos técnicas modernas de cointegración y causalidad para datos de panel: el test de cointegración de Pedroni (1999) para estimar el equilibrio de largo plazo, y corrección de error de Westerlund (2007) para determinar el equilibrio de largo plazo, el método PDOLS y DOLS de Pedroni (2001) para estimar la fuerza del vector de cointegración, y el test de causalidad de Dumitrescu & Hurlin (2012) para verificar la existencia y dirección de causalidad entre las parejas de variables. La aplicación de estas estrategias econométricas para datos de panel permite obtener resultados consistentes sobre la relación causal entre el consumo de energía, el producto interno bruto per capita y la urbanización. Los resultados nos demuestran la relación de equilibrio de largo y corto plazo entre el consumo de energía, el PIB per capita y la urbanización. En la estimación de la fuerza del vector determinamos que en los grupos de países HIC, MLIC y ELIC, el consumo de energía de los hogares depende altamente de la variable PIB per capita. Mientras que sólo en la estimación del modelo PDOLS, se determinó que en los grupos de países MHIC, MLIC y LIC, el consumo de energía de los hogares depende altamente de la urbanización. Finalmente, determinamos la existencia de causalidad bidireccional tanto como para el consumo de energía y el PIB per capita (ENRC \leftrightarrow Y), como para el consumo de energía y la urbanización (ENRC \leftrightarrow URB). En concordancia con la investigación realizada por Yang y Zhang (2017) en la cual analizan las implicaciones de la política de urbanización de China para el crecimiento económico y el consumo de energía, determinando un impacto positivo y significativo de la urbanización en el consumo de energía.

Referencias bibliográficas

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Chong, C., Ma, L., Li, Z., Ni, W., Song, S. (2015). Logarithmic mean Divisia index (LMDI) decomposition of coal consumption in China based on the energy allocation diagram of coal flows *Energy*, 85, 366-378.
- [4] Dickey, D., Fuller, W. A., 1981. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49, 1057-1072.
- [5] Dumitrescu, E. I., Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460.
- [6] Enders, W., (1995). *Applied Econometric Time Series*, John Wiley Sons, Inc., U.S.A.
- [7] Ewing, R., Rong, F. (2008). The impact of urban form on US residential energy use. *Housing policy debate*, 19(1), 1-30.
- [8] Flores-Chamba, J., López-Sánchez, M., Ponce, P., Guerrero-Riofrío, P., & Álvarez-García, J. (2019). Economic and spatial determinants of energy consumption in the European Union. *Energies*, 12(21), 4118.
- [9] Galli, R. (1998). The relationship between energy intensity and income levels: forecasting long term energy demand in Asian emerging countries. *The Energy Journal*, 85-105.
- [10] Ghosh, S., Kanjilal, K. (2014). Long-term equilibrium relationship between urbanization, energy consumption and economic activity: empirical evidence from India. *Energy*, 66, 324-331.
- [11] Granger, C. W. (1988). Causality, cointegration, and control. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 551-559.
- [12] Koengkan, M. (2017). The nexus between energy consumption, economic growth, and urbanization in Latin American and Caribbean countries: An approach with PVAR model. *Revista Valore*, 2(2), 202-219.
- [13] Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1251-1271.
- [14] Imai, H. (1997). The effect of urbanization on energy consumption. *Journal of Population Problems*, 53(2), 43-49.
- [15] Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1551-1580.
- [16] Jones, D. W. (1991). How urbanization affects energy-use in developing countries. *Energy policy*, 19(7), 621-630.
- [17] Liu, Y. (2009). Exploring the relationship between urbanization and energy consumption in China using ARDL (autoregressive distributed lag) and FDM (factor decomposition model). *Energy*, 34(11), 1846-1854.
- [18] 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.
- [19] Ma, H., Du, J. (2012). Influence of Industrialization and Urbanization on China's Energy Consumption. In *Advanced Materials Research* (Vol. 524, pp. 3122-3128). Trans Tech Publications.
- [20] Maddala, G. S., Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652.
- [21] Madlener, R., Sunak, Y. (2011). Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management?. *Sustainable Cities and Society*, 1(1), 45-53.
- [22] Mallick, H. (2009). Examining the linkage between energy consumption and economic growth in India. *The Journal of Developing Areas*, 249-280.
- [23] Mishra, V., Smyth, R., Sharma, S. (2009). The energy-GDP nexus: evidence from a panel of Pacific Island countries. *Resource and Energy Economics*, 31(3), 210-220.
- [24] Narayan, S. (2015). Predictability within the energy consumption-economic growth nexus: Some evidence from income and regional groups. *Economic Modelling* 54, 515-521
- [25] O'Neill, B. C., Ren, X., Jiang, L., Dalton, M. (2012). The effect of urbanization on energy use in India and China in the iPETS model. *Energy Economics*, 34, S339-S345.
- [26] Osorio, B., McCullen, N., Walker, I., Coley, D. (2016). Understanding the relationship between energy consumption and urban form. *Athens Journal of Sciences*, 4(2), 115-141.

- [27] Ozturk, I., Aslan, A., Kalyoncu, H. (2010). Energy consumption and economic growth relationship: Evidence from panel data for low and middle income countries. *Energy Policy*, 38(8), 4422-4428.
- [28] Parikh, J., Shukla, V. (1995). Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development: Results from a cross-national study of developing countries. *Global Environmental Change*, 5(2), 87-103.
- [29] Paul, S., Bhattacharya, R. N. (2004). Causality between energy consumption and economic growth in India: a note on conflicting results. *Energy economics*, 26(6), 977-983.
- [30] Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 653-670.
- [31] 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.
- [32] Pesaran M.H. and Shin, Y. (1998). "An Autoregressive Distributed Lag Modelling Approach to Cointegration Analysis." in *Econometrics and Economic Theory: The Ragnar Frisch Centennial Symposium*, ed. S. Strom. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 371-413.
- [33] Pesaran M.H., Shin, Y. and Smith, R.J. (2001). "Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships." *Journal of Applied Econometrics*, 16 (3), 289-326.
- [34] Phillips, P., Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75, 335-346.
- [35] Ponce, P., López-Sánchez, M., Guerrero-Riofrío, P., & Flores-Chamba, J. (2020). Determinants of renewable and non-renewable energy consumption in hydroelectric countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- [36] 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.
- [37] Sadorsky, P. (2014). The effect of urbanization and industrialization on energy use in emerging economies: implications for sustainable development. *American Journal of Economics and Sociology*, 73(2), 392-409.
- [38] 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.
- [39] Shahbaz, M., Lean, H. H. (2012). Does financial development increase energy consumption? The role of industrialization and urbanization in Tunisia. *Energy policy*, 40, 473-479.
- [40] Shahbaz, M., Lean, H. H. (2012). The dynamics of electricity consumption and economic growth: A revisit study of their causality in Pakistan. *Energy*, 39(1), 146-153.
- [41] Shahbaz, M., Loganathan, N., Sbia, R., Afza, T. (2015). The effect of urbanization, affluence and trade openness on energy consumption: A time series analysis in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 683-693.
- [42] Shahbaz, M., Van Hoang, T. H., Mahalik, M. K., Roubaud, D. (2017). Energy consumption, financial development and economic growth in India: New evidence from a nonlinear and asymmetric analysis. *Energy Economics*, 63, 199-212.
- [43] Sinha, A., Sengupta, T., & Alvarado, R. (2020). Interplay between technological innovation and environmental quality: formulating the SDG policies for next 11 economies. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118549.
- [44] Solarin, S. A., Shahbaz, M. (2013). Trivariate causality between economic growth, urbanisation and electricity consumption in Angola: Cointegration and causality analysis. *Energy Policy*, 60, 876-884.
- [45] Śmiech, S., Papież, M. (2014). Energy consumption and economic growth in the light of meeting the targets of energy policy in the EU: The bootstrap panel Granger causality approach. *Energy Policy*, 71, 118-129.
- [46] Tang, C. F., Tan, B. W. (2014). The linkages among energy consumption, economic growth, relative price, foreign direct investment, and financial development in Malaysia. *Quality Quantity*, 48(2), 781-797.
- [47] Wang, S., Li, Q., Fang, C., Zhou, C. (2016). The relationship between economic growth, energy consumption, and CO2 emissions: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*, 542, 360-371.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 69(6), 709-748.
- [51] Wolde-Rufael, Y. (2009). Energy consumption and economic growth: the experience of African countries revisited. *Energy Economics*, 31(2), 217-224.
- [52] 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.
- [53] Wooldridge, J. M. (2012). *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT Press.
- [54] Yang, Y., Liu, J., Zhang, Y. (2017). An analysis of the implications of China's urbanization policy for economic growth and energy consumption. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1251-1262.
- [55] Yang, Z., Zhao, Y. (2014). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in India: Evidence from directed acyclic graphs. *Economic Modelling*, 38, 533-540.
- [56] Yuan, C., Liu, S., Xie, N. (2010). The impact on chinese economic growth and energy consumption of the Global Financial Crisis: An input-output analysis. *Energy*, 35(4), 1805-1812.
- [57] Zhang, C., Lin, Y. (2012). Panel estimation for urbanization, energy consumption and CO2 emissions: A regional analysis in China. *Energy policy*, 49, 488-498.
- [58] Zhao, Y., Wang, S. (2015). The relationship between urbanization, economic growth and energy consumption in China: an econometric perspective analysis. *Sustainability*, 7(5), 5609-5627.