

Relación Consumo de Energía Eléctrica y PIB: Evidencia desde un Panel Cointegrado de 10 países de América Latina entre 1971 - 2007*

Jacobo Campo Robledo[♦]

Viviana Sarmiento Guzmán[▲]

Esta Versión: Junio 2.011

Resumen

En este documento se estima la relación de largo plazo en la relación Consumo de Energía Eléctrica – PIB, y PIB – Consumo de Energía Eléctrica para 10 países de América Latina durante el periodo 1971 – 2007. Por medio de la prueba de Cointegración de Westerlund (2006) para datos de panel, la cual tiene en cuenta la posible dependencia entre países (Cross-Section) y los posibles quiebres estructurales existentes en la relación de largo plazo, se calculan las elasticidades, tanto individuales como a nivel regional. Lo anterior, con el fin de aportar evidencia empírica sobre la posibilidad de diseñar e implementar políticas que promuevan la conservación de energía eléctrica. Se encuentra que existe Cointegración en ambas direcciones, del consumo de energía eléctrica al PIB, y del PIB al consumo de energía eléctrica. Se evidencia la energía dependencia de algunos países, así como la posibilidad de implementar políticas de conservación de la energía en otros.

Abstract

In this paper estimates the long-term relationship in the relationship Energy Consumption - GDP and GDP - Energy Consumption for 10 Latin America countries during the period 1971 to 2007. Through Cointegration test of Westerlund (2006) for panel data, which takes into account the possible dependence between countries (Cross-Section) and any existing structural breaks in long-run relationship, we calculate the elasticities, both individual and regional level. Above, to provide empirical evidence on the ability to design and implement policies those promote energy conservation. Cointegration is found to exist in both directions, energy consumption to GDP, and GDP to energy consumption. It shows the energy dependence of some countries, as well as the possibility of implementing energy conservation in others.

Palabras Clave: Consumo de Energía, Estacionariedad en Panel, Cointegración Panel, América Latina.

Clasificación JEL: C32, O40, Q43.

* Esta es una versión preliminar (borrador). Cualquier error es responsabilidad de los autores y no compromete en ningún momento a la institución.

[♦] Investigador. Facultad de Economía, Universidad Católica de Colombia. E-mail: jacampo@ucatolica.edu.co

[▲] Asistente de Investigación. Facultad de Economía, Universidad Católica de Colombia. E-mail: lvsarmiento48@ucatolica.edu.co

1 Introducción

Durante las 3 décadas pasadas, desde el estudio pionero de Kraft y Kraft (1978), los economistas y profesionales de otras áreas interesados en la relación del consumo de energía eléctrica y PIB, han estudiado desde distintos puntos de vista y metodologías este tópico. Las metodologías van desde el análisis descriptivo de las series de tiempo, hasta las aplicaciones de Cointegración con datos de panel. En este trabajo se presenta evidencia empírica mediante la aplicación de Cointegración Panel, sobre la relación de largo plazo entre el consumo de energía y el PIB. Lo anterior se realiza en ambas direcciones, es decir, del Consumo de Energía al PIB, y viceversa.

Estudiar esta relación, resulta hoy en día muy importante para los gobiernos, ya que en el marco del calentamiento global, el efecto invernadero, y de la meta de reducir el incremento de la temperatura mundial a un máximo de 2 grados Celsius, se ha hecho necesario estudiar las implicaciones que tienen las políticas conservadoras y de uso eficiente de la energía, sobre el PIB, y por ende sobre el crecimiento económico de los países. Como afirmó la IEA (International Energy Agency), *“el 80% de las emisiones del sector energético que se tenían previstas para el año 2020, ya se han alcanzado, y el 40% de las emisiones de CO2 provienen de los países de la OECD”*¹, lo cual representa un paso atrás en estalucha.

La preocupación de los Policy Makers es que existe un temor al diseñar, formular e implementar políticas conservadoras de energía, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos en estudios sobre el tema, estas políticas pueden tener resultados perversos sobre la actividad económica de los países, sobre todo cuando estos son energía-dependientes.

El propósito de este documento es en primer lugar estimar las elasticidades de la relación existente entre el consumo de energía eléctrica y el PIB para 10 países de América Latina. Y en segundo lugar hacer una comparación a nivel regional. Lo anterior se hace empleando metodologías de datos panel recientes, esto es, los desarrollos de datos de panel cointegrados de segunda generación², los cuales tienen en cuenta quiebres estructurales y la dependencia Cross-Section en la relación de largo plazo. Para esto se aplican pruebas de raíces unitarias y se sigue la metodología propuesta por Westerlund (2006).

¹ www.iea.org

² En la literatura se pueden encontrar dos tipos de pruebas de Cointegración en panel, las de primera generación que no introducen la existencia de una posible correlación cruzada entre los datos de corte transversal (Cross-Section Dependence), y las de segunda generación que proponen tener en cuenta esta dependencia. Adicionalmente, la prueba aquí empleada (Westerlund (2006)) incluye en la relación de largo plazo los quiebres estructurales que existen en la relación de las variables macro, y estos quiebres son determinados endógenamente.

La contribución de este trabajo radica en dos puntos. La primera, se estiman las elasticidades de la relación consumo de energía eléctrica y PIB (en ambas direcciones) para los países latinoamericanos con datos panel, tomando datos de series de tiempo relativamente más grandes que los datos de sección cruzada. Segundo, se emplea la novedosa prueba de Cointegración de Westerlund (2006), la cual permite introducir la dependencia cross-section y los quiebres estructurales dentro de la relación de largo plazo. Cabe anotar que esta metodología no se ha aplicado en ningún trabajo de este tipo.

Este documento está organizado como sigue. Esta primera sección a manera de introducción. En la segunda sección se presenta una breve revisión de la relación entre Consumo de Energía Eléctrica y PIB. La sección 3 expone la metodología empleada en el presente estudio, y se analizan los datos. En la sección 4 se presentan las estimaciones y resultados, comparando estos con resultados de trabajos previos. Finalmente, en la quinta y última sección se concluye en base a los resultados obtenidos.

2 La Relación entre el Consumo de Energía y el PIB: Una Breve Revisión de Literatura

Como se presenta en Squalli (2007), Ozturk (2010) y Magazzino (2011), la relación entre el Consumo de Energía Eléctrica y el PIB puede dividirse en cuatro hipótesis, que recogen el resultado de la dirección de causalidad entre el consumo de energía eléctrica y PIB. La primera hipótesis es la de *neutralidad*, y esta se refiere a la ausencia(o el efecto es muy pequeño) de relación entre las dos variables, en cualquier dirección. Trabajos como Akarca y Long (1980), Yu y Choi (1985), entre otros, han encontrado como resultado el cumplimiento de esta hipótesis. Cuando existe relación solo en una dirección, del PIB al Consumo de Energía Eléctrica, se dice que se cumple la segunda hipótesis conocida como la hipótesis de *conservación* de la energía. Esta hipótesis sostiene que el implementar políticas que promuevan la conservación de la energía tendrá un efecto casi nulo, o nulo sobre el crecimiento económico.

La tercera hipótesis es conocida como la hipótesis de *Crecimiento Económico*, y sostiene que existe causalidad en la dirección consumo de energía eléctrica a PIB. Es decir, si esta hipótesis se cumple, entonces a diferencia de la hipótesis de la conservación, las políticas que promueven la conservación de la energía tendrían efectos nefastos sobre el crecimiento económico, ya que en este caso, el país es energía dependiente. La cuarta y última hipótesis habla de la existencia de una *retroalimentación* entre el consumo de energía eléctrica y el PIB, es decir, existencia de causalidad bi-direccional, del consumo de energía eléctrica al PIB, y del PIB al consumo de energía eléctrica. Nótese que esta última hipótesis es la que se desea probar aquí con la metodología de Cointegración panel, estimando adicionalmente las elasticidades de largo plazo.

Muchos investigadores han estudiado la relación entre consumo de energía eléctrica y PIB, obteniendo diferentes y diversos resultados. Por ejemplo, Kraft y Kraft (1978), encontraron causalidad unidireccional del Ingreso (PIB) al consumo de energía eléctrica en Estados Unidos para el periodo 1947 – 1974, por su parte, Baghestani Obosedra (1989) provó los resultados de Kraft y Kraft (1978) empleando pruebas estándares como la de causalidad de Granger. Sin embargo, Akarca y Long (1980) argumentaron que los resultados obtenidos por Kraft y Kraft (1978) son espurios debido a que no encuentran evidencia de causalidad para distintos periodos de prueba. Yu y Choi (1985) encuentran evidencia de que no existe causalidad en ningún sentido empleando varios métodos de análisis.

Erol y Yu (1987) empleando el test de causalidad de Granger y la metodología de Sims (1982), encuentran causalidad bi-direccional entre el consumo de energía eléctrica y el PIB para Japón e Italia, causalidad en una dirección para Alemania del Este, y en ninguna dirección para Francia, UK y Canada. Hwang y Gum (1992) encuentran evidencia bi-direccional para Taiwan, entre el consumo de energía eléctrica y el PIB. Soytas et al (2001), por su parte, encuentra para Turquía, que existe relación de causalidad que va del consumo de energía eléctrica al PIB, a través de un análisis de Cointegración y un modelo VEC. Fatai (2002) obtiene como resultado que no existe relación entre el consumo de energía eléctrica y el PIB en ninguna dirección para Nueva Zelanda.

Para seis países de la Cooperación del Golfo (Kuwait, Oman, Saudi Arabia, Bahrain, United Arab Emirates, and Qatar), Al-Iriani (2005) encuentra que existe una relación de causalidad unidireccional que va del PIB al consumo de energía. Narayan et al (2010) examinan las elasticidades de largo plazo en esta relación, con el fin de encontrar el impacto del consumo de energía sobre el PIB, y del PIB sobre el consumo de energía. Para una muestra de 93 países durante el periodo 1980 – 2006 y aplicando técnicas de raíces unitarias y Cointegración en panel estiman las elasticidades de largo plazo. Lee (2005), estima por medio de una función de producción con capital, la elasticidad del consumo de energía eléctrica al PIB, encontrando que este es significativo estadísticamente para todos los países de su muestra. Más adelante, se comparan nuestros resultados con los de ellos.

3 Metodología y Datos

En este documento se analiza información sobre consumo de energía eléctrica y PIB para estimar las elasticidades de largo plazo de 10 países de América Latina entre el periodo 1971 – 2007. La metodología empleada para estimar dichas elasticidades es la de Cointegración panel propuesta por Westerlund (2006). En este caso, se propone estimar las siguientes relaciones presentadas en la ecuación (1) y (2), y obtener

(β_i) . Se emplean el subíndice $i = 1, 2, 3, \dots, N$. para denotar los países (observaciones cross-section), y el subíndice $t = 1, 2, 3, \dots, T$. para denotar el tiempo. Considere las siguientes regresiones en panel

$$GDP_{it} = \alpha_i + \beta_i EC_{it} + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$EC_{it} = \alpha_i + \beta_i GDP_{it} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Donde GDP_{it} es el PIB real para cada país (i) en el periodo (t), EC_{it} es el consumo de energía eléctrica, ambas variables medidas en términos per capita. Note que (β_i) es la elasticidad (pendiente) de cada país específico y se asume que es constante durante el periodo 1971 – 2007.

Para evitar la existencia de regresiones espurias se prueba la estacionariedad de las series, para esto se aplican pruebas de raíces unitarias panel. Luego, si las series no son estacionarias, es decir, tienen raíz unitaria, se debe probar si existe relación de largo plazo entre las variables bajo análisis. En resumen, se establece el siguiente procedimiento, primero se aplican pruebas de raíces unitarias en panel para determinar el orden de integración de cada variable; segundo, aplicamos pruebas de Cointegración en panel con el fin de establecer si existe una relación de largo plazo entre las variables, en primer lugar la prueba de Pedroni (1999, 2004) y en segundo lugar la prueba de Westerlund (2006). Lo anterior, debido a que la prueba de Pedroni puede estar sub-especificada ya que no controla por la presencia de quiebres estructurales ni de la dependencia cross-country presente en la relación de largo plazo, mientras que la prueba propuesta por Westerlund (2006) sí lo hace. Y en base a los resultados de esta última se estiman los coeficientes (elasticidades) de largo plazo.

3.1 Pruebas de Raíces Unitarias Panel

Como se mencionó, se empieza por considerar el orden de integración de las series consumo de energía eléctrica y PIB real empleando pruebas para datos panel como IPS (2003), Levin, Lin y Chu (2002), Breitung (2000), Maddala y Wu (1999) (Fisher tipo ADF), Choi (2001) (Fisher tipo PP), y la prueba de estacionariedad de Hadri (2000). La ventaja de Maddala y Wu (1999) e IPS (2003) es que relajan el supuesto de homogeneidad en el panel. Choi (2001) modela la dependencia cross-section a través de factores comunes, considerando un modelo AR(1) homogéneo.

Estas pruebas de raíces unitarias en panel están basadas en los procedimientos de las pruebas para series de tiempo. La teoría y literatura sugieren que las pruebas de raíces unitarias de datos panel ofrecen ventajas

sobre las de series de tiempo, principalmente porque los datos panel combinan unidades de sección cruzada y series de tiempo, proporcionando mayores grados de libertad y eficiencia. Adicionalmente, controlan el problema de sesgo causado por la heterogeneidad no observada.

3.2 Pruebas de Cointegración Panel

Habiendo establecido que ambas series son integradas de orden uno, es decir, que contienen una raíz unitaria en panel, procedemos a probar si existe entonces una relación de largo plazo entre estas, por medio de la prueba de cointegración panel heterogéneo de Pedroni (1999, 2004) (Prueba de Primera Generación), y luego la prueba de Cointegración panel heterogéneo con múltiples quiebres estructurales de Westerlund (2006) (Prueba de Segunda Generación).

Dado que la prueba de Pedroni (1999, 2004) es bien conocida y empleada por muchos investigadores, presentamos a continuación una breve introducción a la prueba de Westerlund (2006). El autor propone una prueba de cointegración para la hipótesis nula de que existe cointegración basada en el Multiplicador de Lagrange (ML) y que permite múltiple quiebres estructurales tanto en el nivel como en la tendencia de la regresión panel³.

El estadístico ML de la prueba panel para esta hipótesis particular está definido, siguiendo a Westerlund (2006), como

$$Z(M) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i+1} \sum_{t=T_{ij-1}+1}^{T_{ij}} \frac{S_{it}}{(T_{ij} - T_{ij-1})^2 \hat{\sigma}_i^2} \quad (3)$$

Donde $S_{it} = \sum_{s=T_{ij-1}+1}^t \hat{\varepsilon}_{it}$, y $\hat{\varepsilon}_{it}$ es el error obtenido de la regresión empleando el estimador Fully Modified

OLS (FMOLS). Westerlund (2006) demuestra que el estadístico $Z(M)$ estandarizado por su media y desviación estándar, tiene una distribución asintótica normal bajo la hipótesis nula. Empleando el procedimiento de Bai y Perron (2003), Westerlund (2006) estima el número de quiebres estructurales y su ubicación en la muestra para cada uno de los países. Adicionalmente, toma en cuenta el impacto de la dependencia cross-country y sugiere emplear una metodología bootstrap para modelarla. En este caso, empleamos el método bootstrap por bloques propuesto por Davison y Hinkley (1997). La ventaja de este procedimiento es que los quiebres son determinados endógenamente, en contraste con otras metodologías.

³ Agradecemos al Profesor Joakim Westerlund por facilitarnos la programación en GAUSS de la prueba aquí empleada.

A continuación, se describen los datos empleando estadísticas descriptivas y gráficos. El análisis empírico se basa en un panel de diez países (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela) de América Latina, para el periodo 1971 – 1997. Se emplean series de consumo de energía eléctrica (Kwh) per capita y PIB real per capita (dólares constantes de 2000) obtenidas del Banco Mundial con periodicidad anual. La Tabla 1 presenta las estadísticas descriptivas de la serie PIB real para cada país, y la Tabla 2 las estadísticas descriptivas de la serie consumo de energía eléctrica para cada país.

La serie consumo de energía eléctrica per capita para los países en estudio sigue una distribución normal, a excepción de Perú; cabe anotarse que Venezuela posee el consumo de energía eléctrica promedio por habitante más elevado de la región (2276.667 Kwh) con una desviación estándar de 584.2418 Kwh, en contraste con Bolivia que registra un promedio de 311.073 Kwh consumidos por persona anualmente, cuya desviación estándar es 95.231 Kwh, siendo esta la menor de la región al igual que su consumo de energía eléctrica per capita (Ver Tabla 1).

Por su parte, la serie PIB real per capita, sigue una distribución normal, con excepción de Paraguay; Argentina tiene el PIB real per capita más alto de la región, corresponde a US\$ 7121.8 y cuya desviación estándar es US\$ 749.552, a diferencia de Paraguay que tiene un PIB promedio por habitante correspondiente a US\$1284.95 constantes del 2000 siendo el más bajo de los países en estudio con una desviación estándar de US\$195.70 (Ver Tabla 2).

Tabla 1. Estadísticas Descriptivas. PIB real (en términos per capita).

País	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Curtosis	Estadístico Jarque-Bera	Probabilidad
Argentina	7121.80	7002.48	9359.59	5606.86	749.55	4.07	4.65	0.0979
Bolivia	2637.92	2676.59	3049.45	2211.73	253.74	1.94	1.77	0.4121
Brasil	3395.72	3509.45	4290.47	2162.34	438.08	3.96	4.97	0.0835
Chile	3466.17	3010.49	6077.35	1889.51	1329.65	1.76	3.91	0.1413
Colombia	2247.99	2236.45	3082.79	1538.74	387.29	2.15	1.15	0.5632
Ecuador	1319.12	1315.13	1680.46	959.73	141.88	4.77	4.82	0.0898
Paraguay	1284.95	1346.53	1486.95	797.83	195.70	3.49	11.02	0.0040
Perú	2102.74	2101.48	2692.17	1620.56	234.64	3.27	0.30	0.8599
Uruguay	5815.09	5212.62	8060.65	4407.32	990.22	2.14	1.91	0.3848
Venezuela	5333.07	5175.67	6521.48	3966.50	634.14	2.31	1.30	0.5229

Fuente: Cálculo de los Autores.

Tabla 2. Estadísticas Descriptivas. Consumo de Energía (en términos per capita).

País	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Curtosis	Estadístico Jarque-Bera	Probabilidad
Argentina	1537.34	1352.62	2658.67	870.26	495.37	2.38	3.56	0.1683
Bolivia	311.07	275.44	514.88	176.12	95.23	2.00	2.80	0.2467
Brasil	1356.85	1451.40	2170.68	495.96	492.59	1.96	2.21	0.3304
Chile	1570.30	1218.02	3318.20	743.35	836.55	2.20	5.02	0.0811
Colombia	746.37	810.13	976.75	401.46	175.56	2.09	4.18	0.1234
Ecuador	471.50	449.53	788.12	146.81	187.86	1.96	1.84	0.3978
Paraguay	495.66	443.80	958.27	81.28	300.89	1.42	3.95	0.1390
Perú	582.13	554.46	960.80	398.33	133.60	3.64	7.51	0.0234
Uruguay	1341.61	1246.15	2196.51	686.88	472.98	1.71	2.97	0.2264
Venezuela	2276.67	2480.28	3098.44	1113.05	584.24	2.37	4.67	0.0966

Fuente: Cálculo de los Autores.

En el Gráfico 1 se muestran los gráficos de las variables para cada uno de los países de la muestra, en logaritmos y en sus primeras diferencias. Estos Gráficos muestran que, en general, aparentemente en muchos periodos las series tienen una relación fuerte, mientras que en otros periodos las series se mueven en direcciones opuestas.

Gráfico 1. Consumo de Energía (EC) y PIB real (GDP) (en Logs) y sus Primeras Diferencias

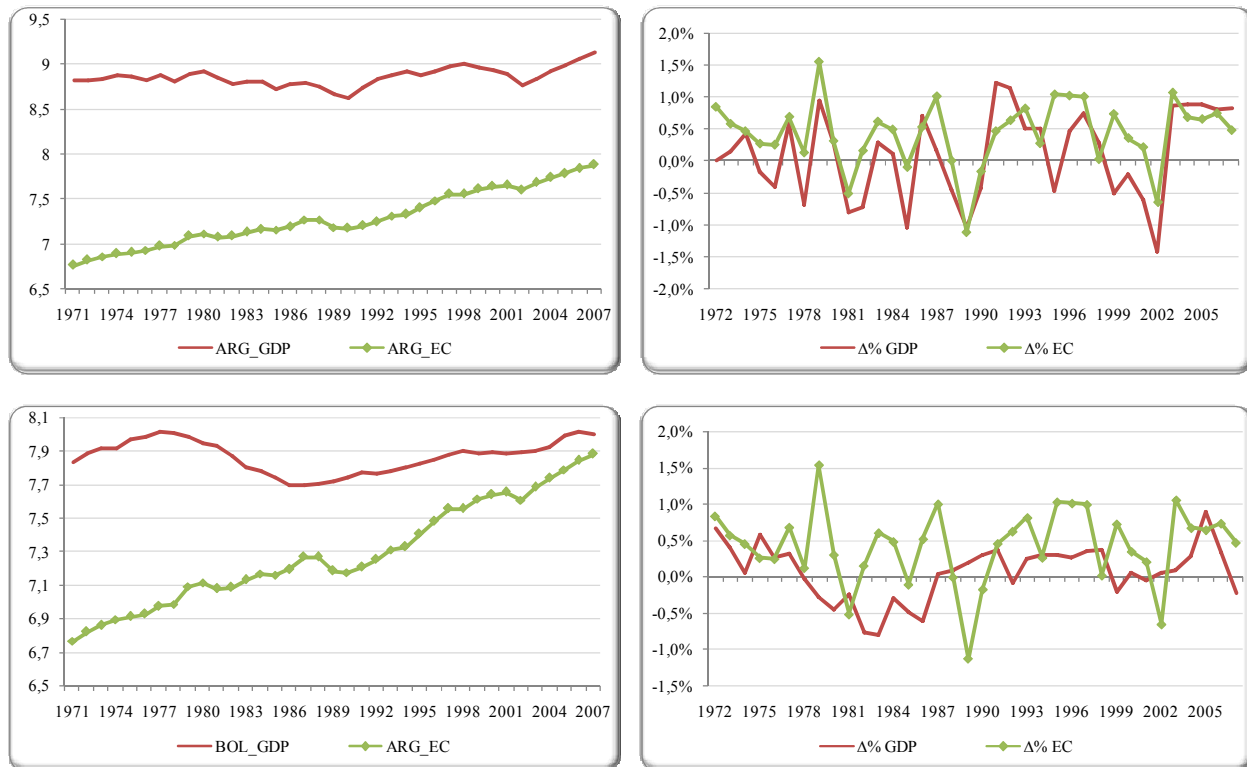


Gráfico 1. (Cont.) Consumo de Energía (EC) y PIB real (GDP) (en Logs) y sus Primeras Diferencias

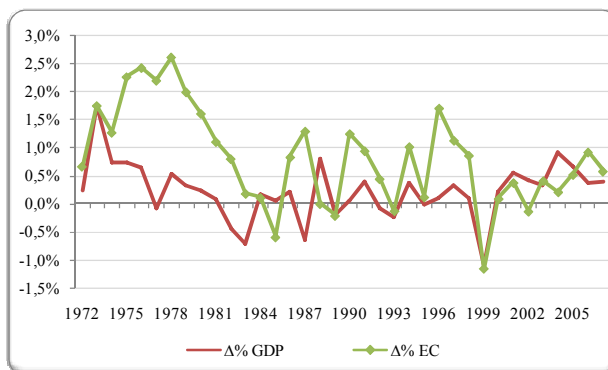
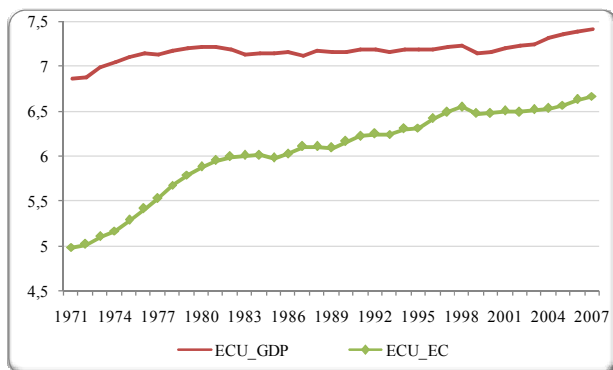
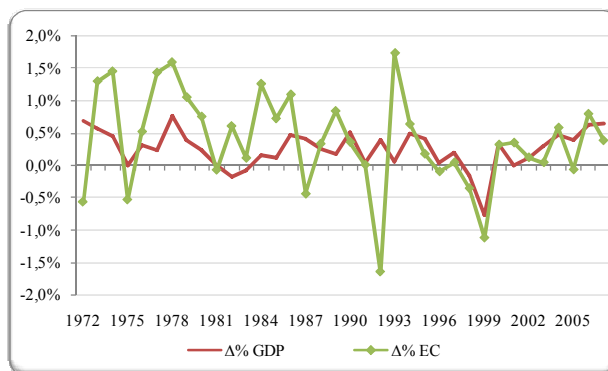
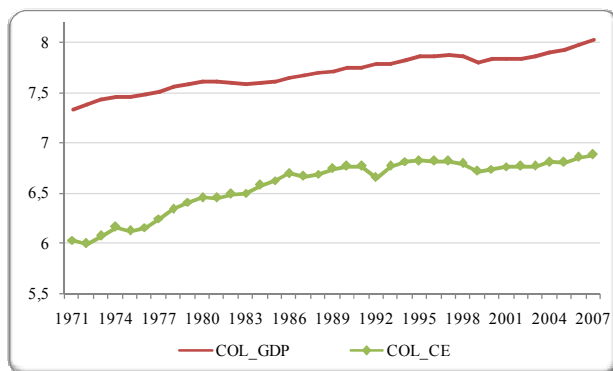
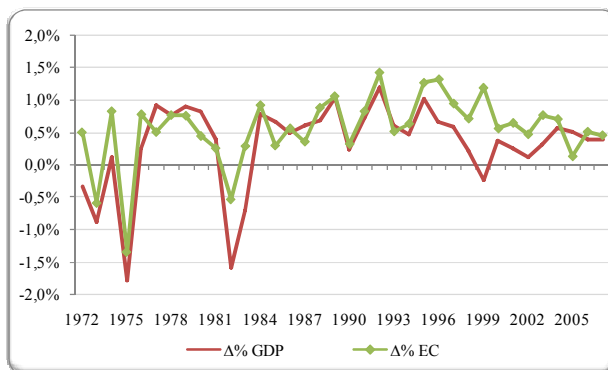
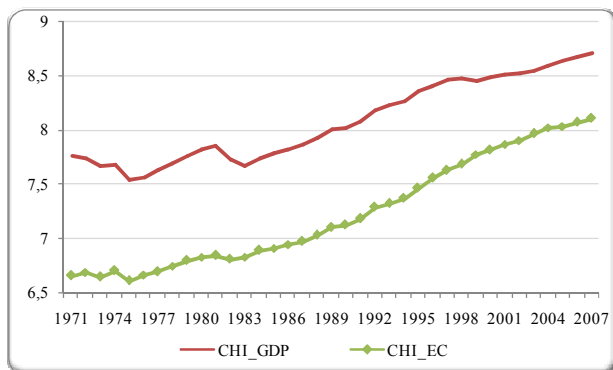
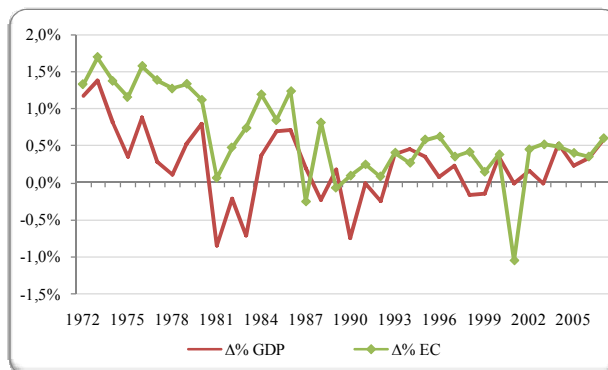
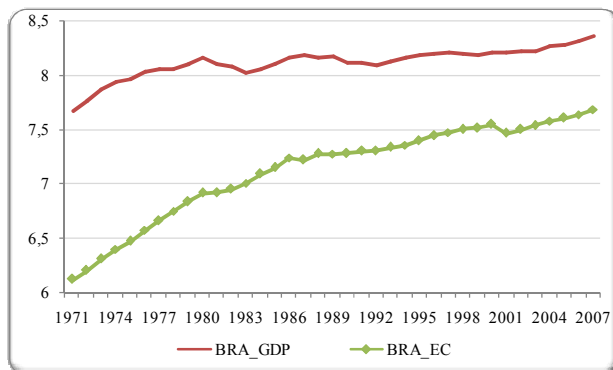
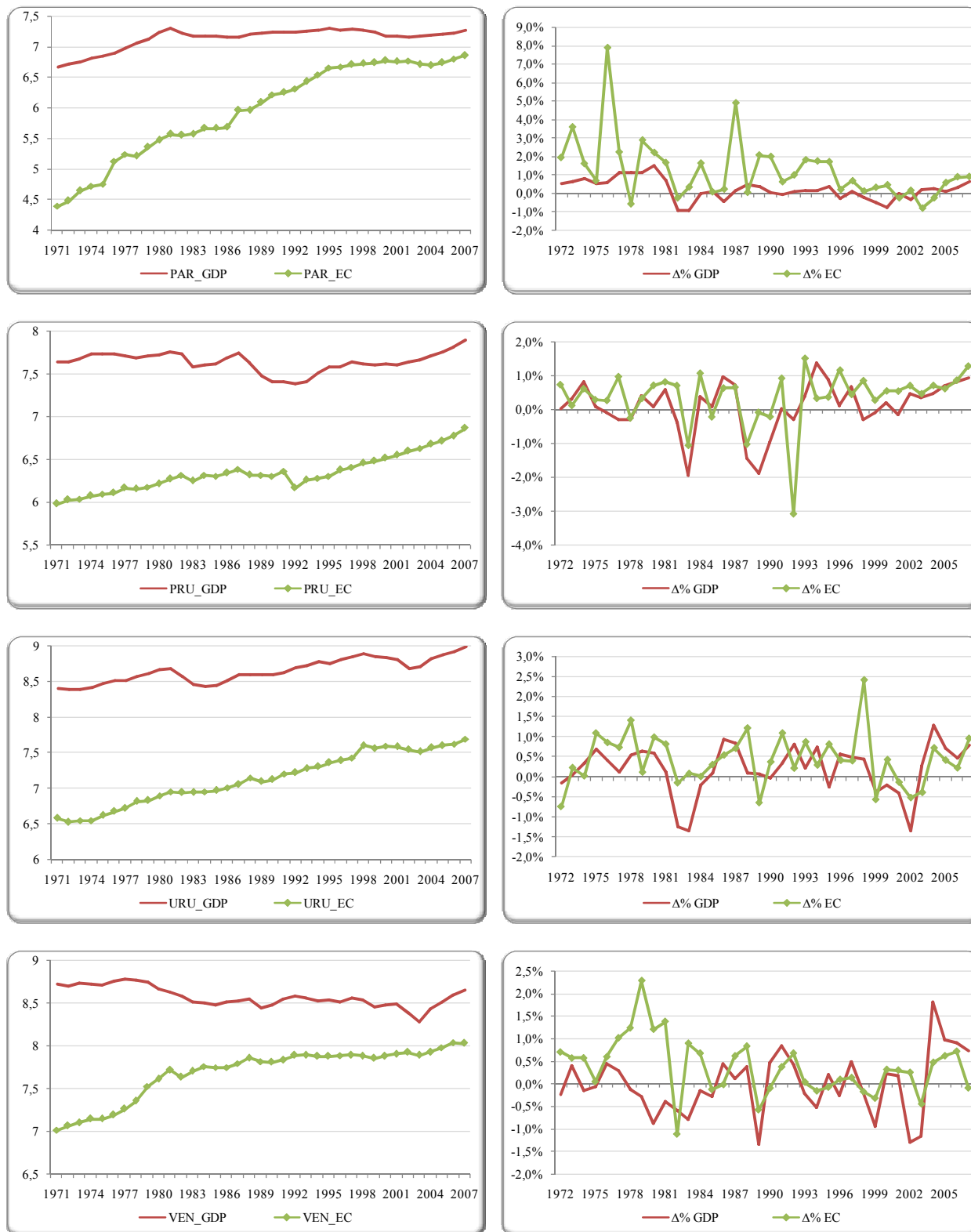


Gráfico 1. (Cont.) Consumo de Energía (EC) y PIB real (GDP) (en Logs) y sus Primeras Diferencias



Fuente: Banco Mundial 2011.

4 Estimaciones y Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos bajo el procedimiento explicado en la sección 3. Específicamente, los resultados de las pruebas de raíces unitarias panel, las pruebas de cointegración panel, y las elasticidades de largo plazo estimadas para cada país, así como para toda la muestra, es decir, a nivel regional.

4.1 Pruebas de Raíces Unitarias Panel

Los resultados de las pruebas de raíces unitarias panel se reportan en la Tabla 3 y Tabla 4. En la Tabla 3, el análisis de los resultados sugiere que las series en niveles (logaritmos) tienen raíz unitaria, es decir, las series consumo de energía eléctrica y PIB son no estacionarias en niveles. En concreto, para ambas series, la hipótesis nula de raíz unitaria no puede rechazarse para IPS, Fisher tipo ADF, Fisher tipo PP y Breitung, y para la prueba de Hadri la hipótesis nula de estacionariedad se rechaza con un nivel de significancia del 1%.

La Tabla 4 muestra el resultado de las pruebas de raíces unitarias panel para las primeras diferencias de las series, con el fin de probar si existen más raíces unitarias, y así determinar el orden de integración de las series. Los resultados indican que las primeras diferencias de las series son estacionarias, lo cual implica que las series en niveles son integradas de orden uno, es decir, son $I(1)$.

Tabla 3. Pruebas de Raíces Unitarias Panel (Niveles).

Prueba	Energy Consumption		GDP	
	Estadístico	Probabilidad	Estadístico	Probabilidad
Im, Pesaran and Shin (Estadístico W)	1.063	0.856	-0.081	0.467
ADF - Fisher (Chi-cuadrado)	12.474	0.898	25.527	0.182
PP - Fisher (Chi-cuadrado)	11.803	0.923	21.564	0.364
Levin, Lin & Chu (t)	-1.88**	0.030	-0.809	0.209
Breitung (estadístico t)	1.497	0.933	-2.056**	0.019
Hadri (Estadístico Z)	8.069***	0.000	4.918***	0.000

Nota: ***(**) denota rechazo de la hipótesis nula a los niveles 1% (5%). El rezago óptimo se seleccionó automáticamente por medio del criterio Schwarz.

Tabla 4. Pruebas de Raíces Unitarias Panel (Primeras Diferencias).

Prueba	$\Delta(\text{Energy Consumption})$		ΔGDP	
	Estadístico	Probabilidad	Estadístico	Probabilidad
Im, Pesaran and Shin (Estadístico W)	-6.7339***	0.000	-8.016***	0.000
ADF - Fisher (Chi-cuadrado)	85.3998***	0.000	101.49***	0.000
PP - Fisher (Chi-cuadrado)	168.42***	0.000	102.68***	0.000
Levin, Lin & Chu (t)	-5.333***	0.000	-8.243***	0.000
Breitung (estadístico t)	-6.253***	0.000	-6.098***	0.000
Hadri (Estadístico Z)	4.911***	0.000	1.021	0.153

Notas: ***(**) denota rechazo de la hipótesis nula a los niveles 1% (5%). El rezago óptimo se seleccionó automáticamente por medio del criterio Schwarz.

4.2 Pruebas de Cointegración Panel

Luego de establecer que ambas series son $I(1)$, es decir, tienen una raíz unitaria en panel, procedemos a probar si existe una relación de largo plazo entre estas, empleando primero la prueba de Pedroni (1999, 2004), y luego la prueba de Westerlund (2006) con múltiples quiebres estructurales.

La Tabla 5 reporta los resultados de la prueba de cointegración de Pedroni (1999, 2004). Se puede observar que para la relación consumo de energía eléctrica- PIB, solo para el estadístico ν y el estadístico t del tipo ADF, se puede rechazar la hipótesis nula de no cointegración con un nivel de significancia del 1%. Mientras que para la relación PIB - consumo de energía eléctrica, ningún estadístico permite rechazar la hipótesis nula de no cointegración. Esto puede significar que la prueba posiblemente está no rechazando la hipótesis nula erróneamente, ya que no está introduciendo los posibles quiebres estructurales ni la dependencia cross-country que puede existir en ambas relaciones, como se puede observar el Gráfico 1. Por este motivo, se aplica la prueba de Westerlund (2006).

Tabla 5. Prueba de Cointegración de Pedroni (1999, 2004)

Dentro de la Dimensión	EC \rightarrow GDP		GDP \rightarrow EC	
	Estadístico	P-Value	Estadístico	P-Value
Panel ν -Statistic	2.721***	0.003	-1.807	0.965
Panel Phillips-Perron type ρ -Statistic	-0.549	0.292	1.168	0.879
Panel Phillips-Perron type t -Statistic	-0.316	0.376	1.047	0.852
Panel ADF type t -Statistic	-1.734**	0.041	0.808	0.791
Entre la Dimensión				
Group Phillips-Perron type ρ -Statistic	0.508	0.694	1.847	0.968
Group Phillips-Perron type t -Statistic	0.406	0.658	1.653	0.951
Group ADF type t -Statistic	-1.281	0.100	1.349	0.911

Nota: ***(**) denota rechazo de la hipótesis nula a los niveles 1% (5%). El rezago óptimo se seleccionó automáticamente por medio del criterio Schwarz.

La Tabla 6 muestra los resultados de la prueba de Westerlund (2006) para ambas relaciones (del consumo de energía eléctrica al PIB, y del PIB al consumo de energía eléctrica). Como se introdujo en la sección 3, empleamos el método bootstrap por bloques propuesto por Davison y Hinkley (1997) para tener en cuenta la dependencia cross-country. En específico, empleamos bloques de tamaño 5 para 1000 replicas. Los resultados indican que en ambos casos el valor probabilístico (P-Value) no permite rechazar la hipótesis nula de cointegración a cualquiera de los niveles de significancia convencionales.

Tabla 6. Prueba de Cointegración de Westerlund (2006)

Metodo de Estimación	FMOLS	
Máximo Número de Quiebres	5	
Metodología del Bootstrap	Bloques Davison y Hinkley	
Tipo de Bloque	Bloques con distribución Geométrica	
Tamaño del Bloque	5	
Número de Simulaciones	1000	
	EC → GDP	GDP → EC
Estadístico LM con Bootstrapping	10.6711	7.357
P-Value Bootstrap	0.986	0.938

La Tabla 7 presenta los quiebres estructurales estimados presentes en la relación de largo plazo entre el consumo de energía eléctrica y el PIB, en ambas direcciones. Estos resultados sugieren una fuerte relación de inestabilidad entre el consumo de energía eléctrica y el PIB en los países de la muestra durante el periodo de estudio. Noten que esta prueba permite detectar 35 quiebres en el panel del consumo de energía eléctrica al PIB, y 36 en el panel del PIB al consumo de energía eléctrica.

Tabla 7. Quiebres Estructurales Estimados

Matriz de Quiebres Estructurales (Consumo de Energía -> PIB)

País	# de Quiebres	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Argentina	3	1988	1994	2002	--	--
Bolivia	5	1975	1981	1987	1997	2002
Brasil	4	1980	1985	1994	2000	--
Chile	3	1986	1993	2000	--	--
Colombia	2	1976	1986	--	--	--
Ecuador	3	1975	1980	1995	2002	--
Paraguay	4	1975	1986	1994	--	--
Perú	2	1981	1991	--	--	--
Uruguay	5	1976	1981	1987	1992	1997
Venezuela	4	1976	1981	1988	1997	--

Tabla 7. (Cont.) Quiebres Estructurales Estimados

Matriz de Quiebres Estructurales (PIB -> Consumo de Energía)

País	# de Quiebres	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Argentina	3	1987	1994	2002	--	--
Bolivia	3	1977	1986	2000	--	--
Brasil	3	1975	1982	2000	--	--
Chile	4	1975	1981	1995	2002	--
Colombia	4	1979	1985	1997	2002	--
Ecuador	3	1981	1995	2002	--	--
Paraguay	5	1975	1981	1987	1996	2001
Perú	4	1982	1988	1993	2002	--
Uruguay	4	1979	1984	1996	2001	--
Venezuela	3	1978	1983	2001	--	--

Nota: Los quiebres estructurales de Westerlund (2006) son estimados empleando el procedimiento de Bai y Perron (2003), con un máximo de 5 quiebres posibles para cada país.

Las elasticidades de largo plazo estimadas se reportan en la Tabla 8. La primera columna lista los países, en la segunda columna la elasticidad del consumo de energía eléctrica al PIB, y en la tercera el caso contrario, la elasticidad del PIB al consumo de energía eléctrica. Cada elasticidad va acompañada por la desviación estándar del coeficiente. Las elasticidades de largo plazo, el impacto que tiene el consumo de energía eléctrica sobre el PIB y el PIB sobre el consumo de energía eléctrica para cada uno de los 10 países y del panel regional indican que existe una relación de causalidad bi-direccional entre las dos series. Más aún, un incremento del 1% en el consumo de energía eléctrica, genera un incremento (en el largo plazo) en el PIB real de 0.59% en el panel regional, y un incremento del 1% en el PIB real genera un incremento (en el largo plazo) en el consumo de energía eléctrica de 0.59% a nivel regional.

Los resultados individuales (por país) de la relación consumo de energía eléctrica a PIB, indican que para todos los países las pendientes tienen signo positivo y son estadísticamente significativas con excepción de Perú, esto es, el consumo de energía eléctrica tiene un impacto positivo sobre el PIB. En el caso de Argentina, Brasil y Chile, el consumo de energía eléctrica muestra un efecto positivo y elástico sobre el PIB, mientras que el caso de Colombia y Paraguay, el consumo de energía eléctrica tiene un efecto positivo y muy pequeño sobre el PIB.

Por otro lado, los resultados individuales de la relación PIB a consumo de energía eléctrica, indican que para todos los países las pendientes tienen signo positivo pero menor que uno (inelástica) y son estadísticamente significativas con excepción de Bolivia, es decir, el PIB tiene un efecto positivo y menor que 1%. Si se comparan los resultados individuales con el regional, podemos observar que Argentina, Bolivia, Brasil y Chile presentan una elasticidad menor a la regional. En el caso de Colombia y Venezuela,

un incremento del 1% en el PIB genera un incremento (en el largo plazo) en el consumo de energía eléctrica de 0.82%.

Los resultados aquí presentados indican que existe una relación de *retroalimentación* entre el consumo de energía eléctrica y el PIB. Pero se podría analizar también de la siguiente forma, por ejemplo, para el caso de Colombia y Paraguay la elasticidad consumo de energía eléctrica a PIB es muy baja (en comparación con el resto), lo cual podría indicar un cumplimiento de la hipótesis de crecimiento en sentido débil. Y por otra parte, la elasticidad PIB a consumo de energía eléctrica es relativamente alta, o al menos es mayor a la regional, lo cual indicaría un cumplimiento de la hipótesis de conservación en un sentido más fuerte. En este orden de ideas, Venezuela parece tener un comportamiento diferente a los países de la región.

Tabla 8. Pendientes Estimadas de la Cointegración Panel (Elasticidades de Largo Plazo)

PAIS	$GDP_{it} = \alpha_i + \beta_i EC_{it} + \varepsilon_i$		$EC_{it} = \alpha_i + \beta_i GDP_{it} + \varepsilon_i$	
	Elasticidad	D.E.	Elasticidad	D.E.
Argentina	1.433	0.108	0.533	0.039
Bolivia	0.214	0.073	0.18	0.141
Brasil	1.236	0.002	0.189	0.052
Chile	1.141	0.002	0.4	0.058
Colombia	0.154	0.068	0.815	0.002
Ecuador	0.204	0.031	0.739	0.003
Paraguay	0.115	0.027	0.693	0.004
Perú	0.379	0.180	0.786	0.003
Uruguay	0.367	0.094	0.783	0.004
Venezuela	0.655	0.232	0.82	0.003
REGIONAL	0.590	0.082	0.5938	0.031

Nota: La Pendiente Regional es un promedio de todos los países.

Otros trabajos, como Narayan et al (2010) y Lee (2005), encuentran elasticidades de largo plazo para algunos países de los estudiados aquí. Por ejemplo, en la Tabla 9 se exponen los resultados de estos autores, y se puede observar que para el caso de Argentina y Venezuela, los resultados de Narayan et al (2010) son similares a los obtenidos en este trabajo. Por otro lado, para el resto de países los resultados son muy diferentes, siendo el caso de Colombia el más raro, por su signo, sin embargo no es significativo estadísticamente. Por su parte Lee (2005) muestra solo una similitud con nuestros resultados, y es el caso de Venezuela, ya que para Argentina, Chile, Colombia y Perú, obtiene resultados muy diferentes.

Tabla 9. Otros Resultados de las elasticidades de largo plazo

	Narayan et al (2010)		Lee (2005)
	$EC \rightarrow GDP$	$GDP \rightarrow EC$	$EC \rightarrow GDP$
PAÍS	Elasticidad	Elasticidad	Elasticidad
Argentina	1.23**	0.43**	0.84**
Bolivia	1.95**	0.25**	--
Brasil	0.29	0.26	--
Chile	0.72**	1.34**	0.83**
Colombia	-0.7	-0.11	1.53**
Ecuador	1.05**	0.44**	--
Paraguay	--	--	--
Perú	1.42**	0.44**	0.96**
Uruguay	1.72**	0.27**	--
Venezuela	0.85**	1.09**	0.58**
REGIONAL	0.91**	0.43**	--

Nota: (**) denota significancia estadística al nivel del 5%.

Retomando los resultados de la Tabla 8, se pueden conciliar analizando la evolución de las estructuras productivas de los países suramericanos, es decir, cómo han cambiado las participaciones de los sectores primario, secundario y terciario durante los años en estudio. En la Tabla 10 se presenta el valor añadido por sector de la economía como porcentaje del PIB para los diez países bajo estudio. Podemos observar que los países que presentan durante las últimas décadas una participación menor como porcentaje del PIB del sector primario y una alta participación de los sectores secundario y terciario, como es el caso de Argentina, Brasil y Chile, presentan las elasticidades más grandes reportadas en la Tabla 8. Lo anterior, significa que estos países son intensivos en bienes producidos por los sectores secundario y terciario (Industria y Servicios). Para el caso de Paraguay y Colombia, que son los países que menor elasticidad presentan, podemos ver que entre los años setentas y la década pasada, en ambos países disminuyó la participación del sector primario y se incrementó la participación del sector terciario.

En resumen, la idea de la Tabla 10 es que, los países que en los años 70's tenían una alta participación del sector primario (en términos relativos) y en los noventas una baja participación, tienen bajas elasticidades en la relación consumo de energía eléctrica a PIB. Y por otra parte, para los países en los cuales la participación del sector primario no ha disminuido considerablemente (por ejemplo, era baja y sigue baja), muestran altas elasticidades en la relación consumo de energía eléctrica a PIB.

Tabla 10. Participación en el Valor Añadido por Sector de la Economía y década.

Country	1970 - 1979. (% of GDP)			1980 - 1989. (% of GDP)			1990 - 1999. (% of GDP)			2000 - 2009. (% of GDP)		
	Primary	Secondary	Tertiary	Primary	Secondary	Tertiary	Primary	Secondary	Tertiary	Primary	Secondary	Tertiary
Argentina	9.18	45.97	44.85	8.16	39.92	51.92	5.94	29.93	64.13	8.64	32.56	58.80
Bolivia	20.66	34.11	45.23	18.99	34.04	46.97	16.36	32.04	51.60	14.37	32.42	53.21
Brazil	12.69	39.33	47.98	10.45	44.55	45.01	6.87	32.64	60.49	6.12	27.83	66.05
Chile	7.62	39.97	52.40	7.59	38.65	53.77	8.08	38.12	53.80	4.62	41.53	53.85
Colombia	24.35	30.09	45.57	18.42	34.67	46.91	15.10	32.62	52.28	8.33	32.18	59.49
Ecuador	19.11	33.33	47.56	13.88	39.28	46.84	15.06	29.60	55.34	10.39	31.89	57.73
Paraguay	34.18	21.87	43.96	27.86	24.06	48.08	21.89	23.85	54.27	19.90	21.40	58.70
Perú	15.78	34.53	49.69	9.96	32.60	57.44	8.81	29.41	61.78	7.52	33.23	59.25
Uruguay	N.D	N.D	N.D	12.99	34.78	52.23	8.09	29.67	62.24	9.79	25.82	64.39
Venezuela	5.15	44.17	50.68	5.87	48.22	45.92	5.23	49.83	44.94	4.25	51.73	44.02

Fuente: World Bank Data. Calculo de los Autores.

5 Conclusiones

Es muy importante que se conozcan los efectos que tiene el incremento del consumo de energía eléctrica sobre el PIB, sobretodo que los conozcan los hacedores de política económica, con el fin de que se tengan en cuenta en el momento de diseñar e implementar políticas efectivas del uso y eficiencia de la energía eléctrica, ó también de la conservación de la energía cuando sea el caso.

Por su parte, la literatura ha estudiado el impacto del consumo de energía eléctrica sobre el PIB a nivel individual (por país) y en panel, con diferentes técnicas y metodologías. Los resultados han mostrado que las metodologías empleadas suelen generar resultados y conclusiones confusas y contradictorias sobre esta relación tan importante. En este documento se estimaron las elasticidades de largo plazo en la relación Consumo de Energía Eléctrica- PIB, y PIB – Consumo de Energía Eléctrica para 10 países de América Latina durante el periodo 1971 – 2007, por medio de la prueba de Cointegración de Westerlund (2006) para datos de panel, la cual tiene en cuenta la posible dependencia entre países (Cross-Section) y los posibles quiebres estructurales existentes en la relación de largo plazo. Lo anterior, con el fin de aportar evidencia empírica sobre la posibilidad de diseñar e implementar políticas que promuevan la conservación de la energía eléctrica y/o uso eficiente de la misma.

En este caso, al existir relación de largo plazo entre el consumo de energía eléctrica y el PIB, se entiende entonces, que en el largo plazo el consumo de energía eléctrica genera crecimiento económico para los países suramericanos, es decir, el consumo de energía eléctrica es un determinante del crecimiento económico en el largo plazo. En el caso de Bolivia, Colombia, Ecuador, Paraguay, e incluso Perú y Uruguay, la elasticidad Consumo de Energía Eléctrica a PIB es baja (por debajo del promedio regional) y se podían implementar políticas que promuevan la conservación de la energía eléctrica, al menos en el

corto plazo, como se mencionó en la sección anterior. Sin embargo, existe una hipótesis de retroalimentación, sugiriendo una interrelación y complementariedad entre el consumo de energía eléctrica y el PIB, esto es, existe una relación de causalidad bi-direccional.

Por otro lado, países como Argentina, Brasil y Chile son energía-dependiente, lo que significa que las políticas que promuevan y busquen la conservación de la energía eléctrica en el largo plazo, tendrían resultados perversos sobre el crecimiento de la economía. Sin embargo, si bien es difícil concluir con gran certeza a cerca de la política energética de los países suramericanos basándonos en los resultados empíricos aquí presentados, estos sirven para exponer ciertas herramientas que pueden ser empleadas junto con otros estudios para la toma de decisiones, por parte de los encargados de diseñar políticas en este campo.

Para futuras investigaciones, se pueden incluir variables como capital físico, capital humano y trabajo, para estimar estas elasticidades de largo plazo mediante regresiones a la Mankiw, Romer and Weil (1992), y de esta forma tener en cuenta estos factores de producción que son tan importantes como el consumo de energía eléctrica. Adicionalmente, se pueden evaluar políticas de eficiencia energética, entendida esta última, no como conservación, sino como el uso eficiente de la energía en los procesos productivos.

Referencias

- Akarca y Long (1980). "On the relationship between energy y GNP: A reexamination", *Journal of Energy Development*, Vol 5, pp. 326 - 331.
- Abosedra, S., Baghestani, H., (1991), New evidence on the causal relationship between U.S. Energy consumption y Gross National product, *Journal of Energy y Development*, 14, pp. 285 - 292.
- Al-Iriani, M.A., (2006), Energy GDP relationship revisited: an example from GCC countries using panel causality, *Energy Policy*, 34, pp. 3342 - 3350
- Breitung, J. (2000). "The local power of some unit root tests for panel data". *Advances in Econometrics*, vol 15, pp. 161 – 177.
- Bai, J. y Perron, P. (2003). "Computation y analysis of multiple structural change models". *Journal of Applied Econometrics*, vol 18, pp. 1 – 22.
- Cheng, B.S., (1995), An investigation of cointegration y causality between energy consumption y economic growth, *Journal of Energy Development*, 21, pp. 73 - 84.
- Choi, I. (2001). "Unit root test for panel data". *Journal of International Money y Finance*, vol 20, pp. 249 – 272.
- Davison, A. y Hinkley, D. (1997). "Bootstrap Methods y Their Application", Cambridge University Press.
- Dickey, D. y Fuller, W. (1979). "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 74, pag. 427 – 431.
- Engle, R.F. y Granger, C. (1987). Co-integration y Error- Correction: Representation, estimation y testing. *Econometrica*, No. 55 (2), pp. 251 – 276.
- Erol, U., Yu, E.S.H., (1987), "On the causal relationship between energy y income for industrialized countries", *Journal of Energy Development*, 13, 113-122
- Fatai, K., Oxley, L., Scrimgeour, F., (2002), Energy consumption y employment in New Zealy: searching for causality, paper presented at NZAE Conference, Wellington, 26-28 June 2002
- Ghosh, S. (2002). "Electricity consumption y economic growth in India". *Energy Policy*, No. 30, pp. 125 – 129.
- Glasure, Y. y Lee, A. (1997). "Cointegration, error correction y relationship between GDP y Energy: the case of South Korea y Singapore". *Resource y Energy Economics*, No. 20, pp. 17 – 25.

- Granger, C. y Newbold, P. (1974). "Spurious Regressions in Econometrics", *Journal of Econometrics*, Vol. 2, pag. 111 – 120.
- Hadri, K. (2000). "Testing for stationarity in heterogeneous panel data". *Econometric Journal*, vol 3, pp. 148 – 161.
- Hwang, D. y Gum, B. (1992). "The causal relationship between energy y GNP: the case of Taiwan", *Journal of Energy y Development*, 219-226
- Im, K., Pesaran, M. y Shin, Y. (2003). "Testing for unit roots in heterogeneous panels". *Journal of Econometrics*, vol 115, pp. 53 – 74.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P., Schmidt, P. y Shin, Y. (1992). "Testing the null Hypothesis of Stationarity Against the Alternative of Unit Root", *Journal of Econometrics*, Vol 54 (1 - 3), pag. 159 – 178.
- Kraft, J. y Kraft, A. (1978). "On the relationship between energy y GNP". *Journal of Energy y Development*, No. 3 (2), pp. 401 – 403.
- Lee, C. (2005). "Energy Consumption y GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis". *Energy Economics*, Vol 27, pp. 415 – 427.
- Lee, C. y Chang, C. (2008). "Energy Consumption y Economic Growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data". *Resource y Energy Economics*, vol 30, pp. 50 – 65.
- Lorde, T. y Guy, K. (2009). "Energy Consumption y Economic Growth in Latin America y the Caribbean: A Panel Cointegration Approach". Central Bank of Barbados, Research Department.
- Johansen, S. (1988). "Statistical analysis of cointegration vectors". *Journal of Economic Dynamics y Control*, Elsevier, vol. 12(2-3), pages 231-254.
- Johansen, S. (1991). "Estimation y Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models". *Econometrica*, Econometric Society, vol. 59(6), pages 1551- 80, November.
- Maddala, G. y Wu, S. (1999). "A comparative study of unit root test with panel data y a new simple test". *Oxford Bulletin of Economics y Statistics*, vol 61, pp. 631 – 652.
- Magazzino, C. (2011). "Energy Consumption y Aggregate Income in Italy: Cointegration y Causality Analysis". *Munich Personal RePEc Archive (MPRA)*, No. 28494.
- Mankiw, G., Romer, P. y Weil, . (1992). "A Contribution to the Empirics of Economic Growth". *Quarterly Journal of Economics*, vol 107, pp. 407 – 437.

- Masih, A., Masih R., (1996). "Energy consumption y real income temporal causality, results from a multi-country study based on Cointegration y Error Correction Modeling Techniques", *Energy Economics*, 18, 165-183.
- Pedroni, P. (1999). "Critical Values for Cointegration Test in Heterogeneous Panels with Multiple Regressors". *Oxford Bulletin of Economics y Statistics*, Special Issue 0305-9049.
- Pedroni, P. (2004). "Panel Cointegration: asymptotic y finite sample proprieties of pooled time series with an application to the PPP hypothesis: New Results". *Econometric Theory*, vol 20, pp. 597 - 627.
- Soytas, U. , Sari, R. y Ozdemir, O. (2001). "Energy Consumption y GDP Relations in Turkey: A Cointegration y Vector Error Correction Analysis". *Economics y Business in Transition: Facilitating Competitiveness y Change in the Global Environment Proceedings*, pp. 838 – 844: Global Business y Technology Association.
- Squiali, J. (2007). "Electricity consumption and economic growth: Bounds and causality analyses of OPEC countries". *Energy Economics*, vol. 29, pp. 1192 – 1205.
- Yu, E.S.H., Hwang, B.K., (1984). "The relationship between energy y GNP: further results", *Energy Economics*, 6, pp. 186 - 190
- Yu, E.S.H., Choi, J.Y., (1985). "The causal relationship between energy y GNP: an international comparison", *Journal of Energy y Development*, 10, pp. 249 - 272
- Westerlund, J. (2006). "Testing for Panel Cointegration with Multiple Structural Breaks". *Oxford Bulletin of Economics y Statistics*, Vol. 68, pp. 101 - 132.