

**EFFECTO DE LAS REFORMAS DEL SECTOR
ELÉCTRICO SOBRE LA ELASTICIDAD PRECIO DE
LA DEMANDA DE LOS SECTORES RESIDENCIAL
E INDUSTRIAL EN AMÉRICA LATINA Y EL
CARIBE: UN EJERCICIO EMPÍRICO**

Trabajo de Grado presentado

por

Ana Cristina Orozco Pérez

a

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN ECONOMÍA**

bajo la dirección de

Andrés Felipe García, Magister en Economía

en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar el grado de Magistra en Economía

Bogotá, Septiembre de 2011

EFECTO DE LAS REFORMAS DEL SECTOR ELÉCTRICO SOBRE LA ELASTICIDAD PRECIO DE LA DEMANDA DE LOS SECTORES RESIDENCIAL E INDUSTRIAL EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: UN EJERCICIO EMPÍRICO

Ana Cristina Orozco Pérez, Autor

Andrés Felipe García, Director

RESUMEN

La estructura del sector eléctrico en América Latina y el Caribe, ha presentado cambios importantes durante las últimas décadas. Las reformas implementadas a partir de los años ochenta mejoraron las condiciones en la prestación del servicio de energía eléctrica en la mayoría de los países de la región. Este documento presenta la evolución reciente del sector eléctrico en América Latina y el Caribe y proporciona evidencia empírica de los cambios sobre la elasticidad precio de la demanda como consecuencia de la implementación de las reformas en el sector, usando modelos tipo panel para el periodo 1980-2002, teniendo en cuenta el ingreso de las personas y los precios de los bienes sustitutos como variables de control. Los resultados del análisis indican que la demanda residencial por electricidad es inelástica, mientras que la demanda industrial por electricidad es elástica; de igual manera, se evidenció que el consumo de electricidad de los sectores residencial e industrial se volvió más sensible al precio después de la implementación de las reformas.

Clasificación JEL: C23, L43, O54, Q41

Palabras Clave: elasticidad precio e ingreso, demanda de electricidad, datos panel, sector eléctrico

THE EFFECT OF ELECTRICITY SECTOR REFORM ON THE PRICE
ELASTICITY DEMAND FOR RESIDENTIAL AND INDUSTRIAL
CONSUMPTION IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN: AN
EMPIRICAL APPROACH

Ana Cristina Orozco Pérez, Author

Andrés Felipe García, Advisor

ABSTRACT

The structure of the electricity sector in Latin America and the Caribbean has experimented important changes in the last decades. The reforms implemented since the eighties improved the conditions of the electricity service in most of the countries. This paper presents the recent evolution of the electricity sector in Latin America and the Caribbean and provides empirical evidence of the changes on price elasticity as consequence of the implementation of reforms using data panel models at country level from 1980 to 2002. By including income per capita and prices of substitutes as control variables, the results indicate that residential demand for electricity is inelastic, while industrial demand for electricity is elastic. However, the electricity demand for the residential and industrial sectors became more price sensitive for both sector with the implementation of the reforms in this sector.

JEL Classification: C23, L43, O54, Q41

Keywords: Price and income elasticity, electricity demand, data panel, electricity sector.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 8 |
| 3. REFORMAS EN LOS SECTORES ELÉCTRICOS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE..... | 15 |
| 3.1. Antecedentes de la Reforma..... | 15 |
| 3.2. La Reforma..... | 18 |
| 3.3. Evolución de los Indicadores..... | 20 |
| 4. MODELO ECONÓMICO..... | 26 |
| 5. RESULTADOS..... | 35 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 42 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 44 |
| 8. ANEXOS..... | 47 |
| 8.1. Estadísticas de América Latina y el Caribe..... | 47 |
| 8.2. Estructura de los sistemas eléctricos en América Latina y el Caribe..... | 54 |
| 8.3. Análisis de la demanda de electricidad para el periodo 1980-2002..... | 56 |
| 8.4. Resultados estudios empíricos demanda de electricidad..... | 62 |

1. INTRODUCCIÓN

En las políticas socioeconómicas de América Latina y el Caribe, se ha tenido en cuenta la demanda de electricidad como mecanismo para impulsar el desarrollo económico y social de los países, pues este servicio es catalogado como esencial para el desarrollo de la economía y la calidad de vida de las personas. Por esta razón, para los gestores de la política pública es de gran importancia tener una evidencia empírica sobre cuál es el comportamiento de la demanda de electricidad ante cambios en los precios. Así mismo, conocer los efectos en la cantidad demandada de electricidad, causados por las variaciones del ingreso de las personas y los precios de los bienes sustitutos, con el fin de evaluar diferentes opciones de política, como por ejemplo cambios en la estructura tarifaria, flexibilización de precios y/o políticas de uso eficiente de energía.

Existe en la literatura económica diversos estudios que se concentran en estimar la elasticidad precio de la demanda de electricidad para evaluar su comportamiento bajo diferentes escenarios de política económica. Narayan *et al.* (2007) señalan que los estudios de demanda de electricidad tienen importantes implicaciones prácticas, pues las estimaciones confiables de elasticidades precio e ingreso de la demanda son piezas importantes de información para los gobiernos en la formulación de políticas para reestructurar los sectores de electricidad, además, la elasticidad precio de la demanda contiene información útil sobre la efectividad de las políticas de precios como un instrumento para promover de manera más eficiente el uso de energía. Por otro lado, Atakhanova y Howie (2007) manifiestan que la información sobre las propiedades de la demanda de electricidad es necesaria para que los hacedores de política puedan evaluar los efectos de cambios en los precios sobre diferentes consumidores y obtener predicciones de demanda, y así tener capacidad de planeación.

El objetivo de este trabajo es estimar la elasticidad precio e ingreso de la demanda de electricidad con información de 19 países latinoamericanos, con el fin de evaluar los efectos de la implementación de las reformas en los sectores energéticos sobre el comportamiento de la demanda de electricidad de los usuarios residenciales e industriales.

Este trabajo busca aportar a la literatura económica empírica, un análisis de la demanda de electricidad para América Latina y el Caribe para el periodo comprendido entre 1980 y 2002, pues como señalan Bhattacharya y Timilsina (2009), los países en desarrollo aun sufren de una alta deficiencia en la información, donde no hay un desarrollo y mantenimiento continuo de bases de datos de energía. De igual manera, Atakhanova y Howie (2007) resaltan que las propiedades de la demanda de electricidad en las economías en transición no han sido bien estudiadas debido a las limitaciones en los datos.

El documento está compuesto de seis secciones, de las cuales esta introducción es la primera. En la segunda sección, se presenta una revisión de la literatura económica empírica disponible sobre metodologías utilizadas en la estimación de la elasticidad precio de la demanda de la energía eléctrica. En la tercera sección, se presenta un resumen de los acontecimientos que antecedieron el proceso de reforma en los sectores eléctricos de los países de América Latina y el Caribe. En la cuarta sección, se describen los datos y la metodología empírica utilizada. En la sección cinco, se presentan los resultados de las estimaciones econométricas para América Latina y el Caribe. Finalmente, en la sección seis se presentan las conclusiones y recomendaciones. Adicionalmente, se incluyen cuatro anexos que contienen una descripción de las estadísticas del sector eléctrico para los países de América Latina y el Caribe, un resumen de la estructura de los sistemas eléctricos de la región, la estimación de la demanda de electricidad para el periodo 1980-2002 y una tabla con los resultados de estudios empíricos sobre la demanda de electricidad.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Existe en la literatura económica un gran número de estudios que analizan el comportamiento de la demanda de diferentes bienes y servicios, centrándose en la estimación de la elasticidad precio y la elasticidad ingreso. Para el caso de la energía eléctrica, se han realizado ejercicios empíricos para entender cuál es el comportamiento de la demanda ante cambios en los precios, y conocer los efectos de las variaciones del ingreso de las personas y los precios de los bienes sustitutos sobre la demanda, esto con el fin de evaluar opciones de política, cambios en la estructura tarifaria, flexibilización de precios y políticas de uso eficiente de energía.

Los primeros estudios empíricos se desarrollaron en los años cincuenta cuando Houthakker (1951) identificó la elasticidad precio e ingreso del consumo de energía eléctrica residencial en el Reino Unido por medio de técnicas de corte transversal. Más adelante, Fisher y Kaysen (1962) analizaron la demanda de electricidad industrial y residencial en Estados Unidos, donde incorporaron el grado de urbanización como determinante de la demanda de electricidad y encontraron que los estados más urbanizados presentaron una elasticidad ingreso significativamente mayor a los estados menos urbanizados.

Baxter y Rees (1968) se concentraron en el estudio de la demanda industrial para 16 grupos de empresas en el Reino Unido, consideraron dentro de las variables de análisis el producto de cada industria, los precios de la electricidad y los precios de los energéticos sustitutos, y concluyeron que los cambios en los precios relativos no son un determinante en el crecimiento del consumo de electricidad en el sector industrial, mientras que el crecimiento del producto y las tecnologías empleadas si resultaron ser determinantes significativos.

Wilson (1971) amplía el análisis del comportamiento de la demanda con información a nivel de hogar, para esto, amplió la función de demanda con seis categorías de electrodomésticos para el hogar y obtuvo una elasticidad precio e ingreso negativa. Por

otro lado, Houthakker y Taylor (1970) modelaron el consumo del sector residencial con series de tiempo para Estados Unidos teniendo en cuenta el stock de equipos, el ingreso y el precio relativo; y encontraron que las elasticidades precio e ingreso eran muy pequeñas en el corto plazo, respecto a los resultados obtenidos para el largo plazo.

Berndt y Samaniego (1984) se enfocaron en la diferencia entre el acceso al servicio y el consumo de electricidad a través de modelos que separan estos tipos de consumos para México. Los autores encontraron que los precios se relacionan negativamente con el consumo, mientras que el ingreso presenta una relación positiva, lo cual ocasiona que aumentos en el ingreso incrementan el número de hogares conectados al servicio de la electricidad y el consumo de los hogares que ya tienen el servicio. Igualmente, encontraron que las políticas de precios no afectan la demanda residencial de electricidad.

Desde los primeros estudios del comportamiento de la demanda de energía eléctrica a través de la estimación de la elasticidad precio e ingreso de la demanda, se han empleado diferentes métodos de estimación, datos (agregados, desagregados), periodos de tiempo y unidades de análisis (países, regiones u hogares). La mayoría de los estudios parten de una función de demanda clásica, donde la cantidad demandada de electricidad es explicada por el precio, el ingreso, el precio de combustibles sustitutos, el precio relativo de la energía eléctrica frente a los energéticos sustitutos y otras variables que pueden influir en la demanda de electricidad, por ejemplo, las características demográficas, el clima y características de los hogares o de los individuos.

Los avances en las técnicas de estimación y la mayor disponibilidad de datos han permitido a los investigadores realizar trabajos que permiten evaluar la sensibilidad de la demanda a partir de información con alto nivel de desagregación, con esto se busca explotar la heterogeneidad de los individuos (hogares o regiones) y modelar los diferentes hábitos de consumo. Dentro del análisis de la demanda de energía eléctrica con información a nivel de hogar, se incluyen además del precio y el ingreso, variables que caracterizan el tipo de vivienda, características de los individuos, la cantidad de equipos eléctricos por hogar y su ubicación geográfica.

Los estudios realizados por Reiss y White (2005) y Fernández (1999) incluyeron información desagregada a nivel de hogar como el stock de equipos eléctricos. El primer estudio estimó la función de demanda utilizando el método de momentos, mientras que el segundo empleó técnicas de corte transversal. Los autores concluyeron que la electricidad es un bien precio-inelástico, mientras que la elasticidad ingreso es positiva. Bajo este mismo enfoque, Filippini y Pachauri (2004) a partir de un corte transversal, incluyeron dentro del análisis las condiciones climáticas diferenciando la demanda de electricidad en tres temporadas (verano, invierno y monzón) del año en la India, los autores encontraron que en el verano la elasticidad precio de la demanda es significativamente menor a las elasticidades del resto del año, y que la elasticidad ingreso no varía entre temporadas; adicionalmente, hallaron una relación complementaria con el gas licuado de petróleo.

Otros trabajos evalúan los determinantes de la demanda de energía eléctrica y analizan el comportamiento de la demanda bajo diferentes escenarios de política económica. Dentro de estos trabajos se encuentra el realizado por Atakhanova y Howie (2007), donde estimaron la demanda de energía para Kazakhstan con técnicas de datos panel considerando por separado los sectores residencial, industrial y servicios. Los resultados obtenidos muestran una baja elasticidad precio de la demanda para todos los sectores, con este resultado, los autores concluyen que se pueden generar aumentos en los precios con el fin de financiar sistemas de generación y distribución de electricidad.

Mediante un modelo de series de tiempo, Sa'ad (2009) examinó los efectos de los cambios estructurales y las condiciones de vida de los hogares a partir de la estimación de la función de demanda para el sector residencial de Corea del Sur. De acuerdo con los resultados, el autor concluyó que solo implementando políticas de gestión de la demanda a través de un aumento de los precios de electricidad e impuestos no es posible desincentivar el consumo de electricidad.

Nakajima (2010) estimó la elasticidad precio e ingreso de la demanda en Japón utilizando la técnica de datos panel. El autor encontró que para el sector residencial la demanda de electricidad es sensible al precio y que existe una relación negativa entre el precio y la

cantidad demandada, mientras que la demanda es inelástica al ingreso. El autor concluye que los resultados de la estimación es una justificación económica para la discusión de la política energética en Japón, principalmente en la desregulación y estabilidad del suministro de energía para uso residencial.

Por su parte, Kamerschen y Porter (2004), y Hondroyannis (2004), incluyeron la temperatura como variable explicativa de la demanda de electricidad. En el primer caso se utilizaron ecuaciones simultáneas para la demanda residencial, industrial y total de electricidad en Estados Unidos y el segundo tuvo en cuenta un análisis de series de tiempo para Grecia. Ambos estudios encontraron esta variable como determinante en el comportamiento de la demanda de electricidad para el sector residencial.

Narayan y Smyth (2005), analizan la demanda de electricidad en Australia, incorporando el precio relativo de la electricidad respecto al gas natural para reducir a uno el número de variables exógenas. Como resultado se obtuvo el signo negativo esperado para el coeficiente del precio relativo tanto en el corto plazo como en el largo plazo.

En un estudio para la India, Bose y Shukla (1999) estimaron la elasticidad precio e ingreso para los sectores residencial, comercial, agricultura e industria pequeña, mediana y grande. En el estudio la demanda de electricidad fue elástica al ingreso para los sectores comerciales y grandes industriales, y la elasticidad precio de la demanda varió considerablemente entre sectores siendo más inelástica para el sector agricultura que para el sector residencial.

A nivel de países, los ejercicios empíricos para evaluar el comportamiento de la demanda emplean como variables de control el precio de los bienes sustitutos y el ingreso por hogar o habitante, además de emplear diferentes técnicas de estimación. Por ejemplo, Gang (2004) estimó la elasticidad de la demanda de electricidad, gas natural, carbón y gasolina en los sectores residencial e industrial y del *fuel oil* en el sector industrial de los países de la OECD a través de modelos tipo panel de datos dinámico, obtuvo que la elasticidad precio es en general mayor (en valor absoluto) para la demanda de electricidad, el gas

natural y gasolina, mientras que la elasticidad ingreso es menor en el sector residencial que en el sector industrial.

Para los países del G7, Narayan *et al.* (2007), modelaron el comportamiento de la demanda para el sector residencial aplicando un análisis de raíces unitarias y cointegración. En el análisis incluyeron como determinante de la demanda de electricidad el precio relativo de la energía eléctrica respecto al gas natural. La demanda residencial de electricidad en estos países fue inelástica al ingreso, elástica al precio en el largo plazo y el gas natural resultó un bien sustituto de la electricidad. En este mismo contexto, Al-Faris (2002) modeló la demanda de electricidad para los países miembros del Consejo de Cooperación del Golfo (GCC), y encontró un impacto del ingreso y el precio sobre el consumo de electricidad.

Para América Latina y el Caribe no se encontraron estudios que estimaran la demanda de electricidad para un determinado grupo de países, los trabajos han basado su análisis en estimar la elasticidad precio e ingreso de la demanda de forma individual. En Chile, Benavente, Galetovic *et al.* (2005) estimaron la demanda de electricidad de los hogares por medio de paneles de datos dinámicos, con información de 18 compañías de distribución de energía eléctrica, los autores demuestran que para Chile la elasticidad no es perfectamente inelástica. De manera similar, Agostini *et al.* (2009), estimaron la elasticidad precio e ingreso de la demanda en Chile con información de la encuesta de caracterización económica nacional a partir de la técnica de corte transversal, en el estudio concluyeron que es factible realizar un manejo de la demanda como parte de una política de eficiencia energética y así hacer frente a shocks negativos de oferta de energía eléctrica.

Con la implementación de las reformas al sector eléctrico alrededor del mundo, se han realizado gran cantidad de estudios con el fin de evaluar el desempeño y los efectos de la reformas. Dentro de la literatura empírica se encuentran distintas metodologías para evaluar los efectos de la reformas, entre las que se destaca el análisis econométrico, análisis de la eficiencia y productividad de las empresas de electricidad, estudios generales de crecimiento económico y estudios de caso de la reforma del sector para un solo país

(Jamash *et al.* 2005). Debido a la amplitud de estudios se hará énfasis en los estudios econométricos que han evaluado los determinantes de las reformas en el sector eléctrico y los efectos de las reformas sobre diferentes indicadores de desempeño en los sectores eléctricos para diferentes países. La mayoría de los estudios incluyen dentro de su análisis información de los países de América Latina y el Caribe.

Entre los estudios sobre los determinantes institucionales de las reformas en el sector eléctrico se pueden incluir los trabajos de Bacon y Besant-Jones (2001) y Ruffin (2003). Estos estudios se realizaron a partir de técnicas de corte transversal e incluyeron como variables de control indicadores de manejo macroeconómico, político e institucional, la independencia judicial, la distribución del conflicto y la ideología económica. El primer estudio concluye que un adecuado manejo macroeconómico, político e institucional conduce a una reforma más activa, además se evidenció que los países de América Latina y el Caribe son más propensos a las reformas que los países del Medio Oriente y África, mientras que Ruffin (2003) encontró una relación ambigua entre la competencia como variable de reforma y la independencia judicial, la variable reforma es una puntuación que refleja el número de medidas adoptadas en las reformas, incluyendo la competencia y la privatización¹.

Otros estudios empíricos que se concentraron en analizar los efectos de algunos componentes de la reforma en el desempeño del sector, incorporaron indicadores de regulación, privatización, reestructuración y competencia. Bartolotti *et al.* (1998) a partir de datos de privatización en la generación de electricidad, encontraron que una regulación adecuada es crucial para el éxito de la privatización. Por otra parte, Steiner (2001) con datos para 19 países de la OECD, encontró que la liberación del mercado lleva a menores precios, y que la capacidad de utilización es mayor con propiedad privada y con una desintegración vertical. Finalmente, Zhang *et al.* (2007) evaluaron el desarrollo de la industria de generación de electricidad para 36 países y encontraron que la privatización y la regulación no conducen a obvios beneficios en los resultados económicos, aunque se

¹ Este indicador es reportado en Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP) 1999.

presenten algunos efectos de interacción positivos, mientras que la introducción de la competencia en los mercados pareció ser eficaz para estimular mejoras en la operación.

Con la estimación de la elasticidad de la demanda, Nakajima y Hamori (2010) compararon el efecto de las políticas de desregulación implementadas en algunos mercados de comercialización con aquellos que permanecieron regulados en Estados Unidos. Los autores concluyen que las políticas de desregulación en los mercados de comercialización, no son la causa de las diferencias en la elasticidad precio entre los estados desregulados y los regulados, pues no se evidenció una diferencia sustancial en la elasticidad precio entre ellos antes y después de la implementación de las políticas.

Existen muchos estudios que estiman la elasticidad precio de la demanda para diferentes países en el mundo de manera individual o agregada, al igual que estudios sobre los efectos de las reformas en el desempeño del sector eléctrico y la economía en general. Sin embargo, no se encontraron estudios que hayan analizado los determinantes de la demanda de energía eléctrica y el efecto de las reformas en el sector eléctrico sobre el consumo de energía eléctrica para los países de América Latina y el Caribe. De este análisis se pueden obtener conclusiones del comportamiento del consumo residencial e industrial para el manejo de la política energética de la región y reformas posteriores en los sectores eléctricos de cada uno de los países.

3. REFORMAS EN LOS SECTORES ELÉCTRICOS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

3.1. Antecedentes de la Reforma

La organización institucional y la estructura de mercado del sector eléctrico en los países de América Latina y el Caribe, han tenido diferentes etapas de desarrollo. En cada etapa se lograron avances significativos en términos de cobertura y reglamentación, pero también se presentaron problemas que representaron cambios en la estructura general del sector. La prestación del servicio de energía eléctrica en la mayoría de los países de la región fue de iniciativa privada, sin embargo, el desarrollo económico y social de los países en el siglo XX, demandó esfuerzos adicionales para responder a la creciente demanda de energía que la empresa privada no podía ofrecer; además, en la región no se habían establecido esquemas institucionales que generaran incentivos a la empresa privada para prestar el servicio.

A partir de 1950, el Estado inició una activa participación en el sector eléctrico en todos los países, pues el sector privado no pudo proporcionar los recursos necesarios para la expansión del servicio, con este esquema se nacionalizaron y se crearon empresas de tipo municipal y nacional con una estructura de monopolio e integradas verticalmente. Los planes de los gobiernos se centraron en el desarrollo de grandes proyectos de generación y sistemas interconectados para el transporte² y distribución de energía eléctrica, lo que permitió aprovechar las economías de escala por su condición de monopolio natural y así facilitar el acceso al servicio a segmentos aislados de la población.

El esquema estatal logró avances significativos en el desarrollo de los sectores eléctricos de la región, la tasa de expansión promedio entre 1970 y 1980 fue del 10% para los países de América Latina y el Caribe. En relación a la cobertura del servicio, la cobertura total promedio para los países de la región pasó del 48% en 1970 al 63% en 1980³. La financiación de los planes de expansión se sujetó a los recursos del presupuesto de los

² Perú, Brasil y Colombia iniciaron la integración de los mercados nacionales en 1960, por medio de una interconexión.

³ Los países que lograron una mayor cobertura para 1980 fueron Chile, Uruguay y Venezuela.

gobiernos financiados con alto endeudamiento externo, ya que la banca nacional no tenía la capacidad de otorgar créditos para llevar a cabo proyectos intensivos en capital.

En la década de los ochenta, se presentó en la región una crisis económica estructural, la cual inició con la suspensión de los pagos de la deuda externa de importantes países de la región (Argentina, México y Brasil), y afectó los principales indicadores macroeconómicos⁴. Aunque la crisis no afectó de igual manera a todos los países, si evidenció los problemas estructurales que presentaba el sector eléctrico, entre los cuales se encontraban: deuda excesiva, poca eficiencia de los mercados, rezago tarifario y baja cobertura en zonas rurales.

En la crisis financiera del sector influyeron varios factores, uno de los más importantes fue el alto endeudamiento externo. Los excedentes financieros derivados de la bonanza petrolera de los años setenta, generaron condiciones flexibles de financiamiento para los países de la región, lo que suscitó una mayor demanda de créditos, la expansión de los sistemas eléctricos fue financiada en su mayoría por este tipo de créditos; sin embargo, el desequilibrio económico ocasionado en los años ochenta, cambió las condiciones de financiamiento, los periodos de gracia y los plazos de amortización disminuyeron, mientras que las tasas de interés aumentaron, ocasionando que los gobiernos tuvieran que asignar más recursos para el financiamiento de las inversiones, generando una mayor carga fiscal.

Ghanadan y Williams (2006) señalan que en la década de 1980 los préstamos para el desarrollo del sector eléctrico representaban alrededor del 25% del servicio de la deuda exterior total del sector público de los países en desarrollo. De igual manera, al final de los años setenta, la cobertura de deuda (deseable en una proporción de al menos 1.3) cayó por debajo de uno, y en 1980 se ubicó entre 0.6 y 0.3. Después de cubrir los gastos, el ingreso operacional no era suficiente para pagar el servicio de la deuda (OLADE y Banco Mundial, 1991).

⁴ Se presentaron presiones inflacionarias, aumentos en las tasas de interés, devaluación de las monedas, caídas en el PIB e incrementos en los niveles de pobreza.

Otro problema que agravó la situación financiera de las empresas fue la falta de esquemas tarifarios que reflejaran los costos reales de la prestación del servicio. Los gobiernos nacionales o municipales fijaban directamente las tarifas de manera centralizada con objetivos de promoción y desarrollo; aunque con frecuencia se ajustaban de acuerdo con las necesidades de carácter político en tiempos de bajo crecimiento económico. Igualmente, La mayoría de los gobiernos no establecieron incrementos adecuados en las tarifas para responder a las nuevas condiciones y conservaron subsidios para los usuarios de ingresos medios y bajos, lo cual ocasionó distorsiones en las tarifas entre los diferentes sectores de consumo.

En 1980 las tarifas medias para el sector residencial decrecieron en promedio 7% en la región⁵. Dussan (1996) señala que la caída en términos reales de las tarifas residenciales permaneció hasta el final de la década a niveles inferiores de 50 US/MWh, muy por debajo de los costos marginales (estimado en un rango entre 80 a 100 US/MWh para usuarios de bajo voltaje). Lo anterior, junto a las altas tasas de inflación⁶ que presentaron la mayoría de los países en este periodo, aumentó la brecha entre los ingresos y los costos de prestar el servicio, afectando la estabilidad financiera de las empresas.

Otro aspecto que debilitó las finanzas de las empresas fue la reducción sustancial de los ingresos por ventas de electricidad como resultado de la caída en el crecimiento de la demanda. En América Latina y el Caribe, la tasa de crecimiento del consumo de electricidad pasó de 9.5% en el periodo 1970-1980 a 5.6% en 1980-1985 y 4.6% en 1985-1990⁷.

Todos estos factores disminuyeron la capacidad de autofinanciamiento de nuevas inversiones, afectaron la continuidad de los planes de expansión, generaron restricciones

⁵ Argentina, Ecuador, Guatemala, Nicaragua, Paraguay, Perú y Venezuela presentaron caídas mayores al 12% en términos reales entre 1980 y 1989, solamente Brasil presentó un incremento del 2% en los precios de electricidad durante el mismo periodo.

⁶ Con procesos de hiperinflación en Argentina, Bolivia, Brasil, Nicaragua y Perú.

⁷ Paraguay fue el país con mayor crecimiento en el consumo en los tres periodos analizados al crecer a tasa de 19%, 7% y 13% respectivamente, mientras que Jamaica (-1%), Suriname (-8%), Guyana (-6%), fueron los países donde la demanda cayó en los periodos 1970-1980, 1980-1985 y 1985-1990 respectivamente.

en los gastos de operación y mantenimiento y pagos al servicio de la deuda. Como resultado los sectores eléctricos ocuparon buena parte del presupuesto y la deuda pública de los gobiernos.

3.2. La Reforma

Con el fin de solucionar la problemática estructural, la mayoría de los gobiernos consideraron reformar el sector eléctrico a través de la implementación de nuevos modelos económicos e institucionales basados en la liberación de los mercados y la promoción de la inversión privada. Las políticas de intervención estatal fueron reemplazadas por políticas orientadas a promover la eficiencia y la competencia, las funciones del Estado se concentraron en la regulación y supervisión de los servicios públicos domiciliarios y se dio paso a la participación de la empresa privada como prestador del servicio; con este esquema se buscó reducir los efectos distorsionantes de la intervención estatal en las actividades económicas.

Las reformas implementadas en América Latina y el Caribe difieren entre los países en su profundidad y ámbito de aplicación; sin embargo, tenían como objetivos principales prestar el servicio de manera eficiente a través de criterios de mínimo costo en la expansión y operación, asegurar la oferta de electricidad en el largo plazo y aumentar la cobertura del servicio hacia las zonas rurales y segmentos de la población con menores ingresos⁸.

Para lograr los objetivos propuestos, los gobiernos implementaron programas de reforma por medio de acuerdos institucionales para la introducción de la competencia y el capital privado en el sector. Los elementos de las reformas son los siguientes:

- Separación de las actividades de generación, transmisión y distribución.
- Creación de la competencia a nivel de la generación y creación de un mercado mayorista de electricidad.

⁸ Para mayor detalle de estos objetivos véase *the regulation of private monopoly in developing countries*, Price waterhouse, april 1994.

- Participación de capital privado en la prestación del servicio.
- Establecimiento de un marco regulatorio.
- Desregulación del precio para demanda, en segmentos del mercado donde la competencia fuera factible y regulación de las tarifas basado en el costo económico, para los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

Con el ingreso y la participación del sector privado se pretendía facilitar la expansión de los sistemas eléctricos hacia sectores con menor cobertura del servicio, responder a las necesidades de los diferentes sectores económicos, acabar con los problemas financieros de las empresas y con la carga fiscal que implicaba este sector en el presupuesto nacional de los diferentes gobiernos. Además, por medio de un marco regulatorio estable, se buscó la introducción de la competencia en los segmentos de la cadena productiva donde fuere posible, y regular las actividades de transmisión y distribución por su condición de monopolio natural, para que las tarifas reflejaran los costos eficientes del servicio.

Chile en 1982 fue el primer país en reestructurar el sector eléctrico. Dentro de los principales elementos de la reforma se encontró la participación del capital privado y la introducción de la competencia en el sector, se privatizaron la mayoría de las empresas del Estado y los activos del sector eléctrico. Igualmente, se suspendieron las garantías del gobierno para proyectos eléctricos. Argentina en 1990 en medio de una crisis económica y política implementó la reforma, teniendo en cuenta las experiencias de Chile y el Reino Unido. Poco tiempo después, las reformas se extendieron por América Latina hasta el año 2000 en México, Bolivia, Perú, Colombia, Honduras, Nicaragua, Costa Rica Guatemala, Ecuador, Uruguay y Venezuela. Brasil reformó el sector en 1996; sin embargo, realizó una segunda reforma en 2004 pues no se había desarrollado todo el potencial hidroeléctrico por la baja expansión en proyectos de generación.

Aunque las reformas comparten los elementos básicos mencionados anteriormente, los programas implementados fueron adaptados a la estructura de mercado y a las condiciones sociales y políticas de cada país, por ejemplo, en Colombia el programa de privatización fue limitado debido a consideraciones políticas; en Argentina, el marco regulatorio no

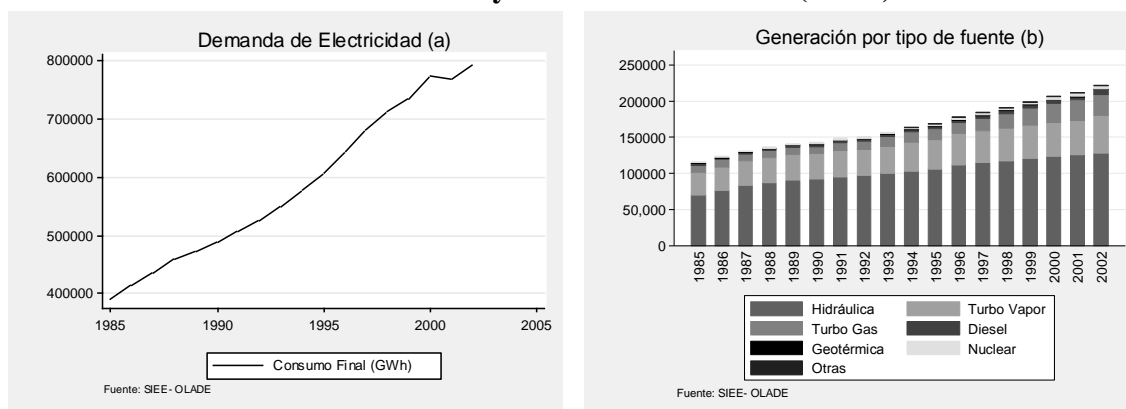
estableció la obligación de realizar inversiones en infraestructura de los sistemas eléctricos; en Perú, la mayoría de las inversiones permanecieron en manos del Estado; y en México las empresas que operaban la totalidad de los sistemas de generación, transmisión y distribución permanecieron integradas.

La introducción de la competencia en los mercados eléctricos se realizó en los países de la región conforme al tamaño de la demanda por electricidad. Los países con gran demanda adoptaron modelos de libre mercado (Chile, Argentina, Perú, Bolivia y Colombia), donde los beneficios de la separación vertical resultaban mayores que las pérdidas en economías de escala, mientras que en países con baja demanda optaron por una apertura limitada del mercado con participación de capital privado, pues las economías de escala de sus sistemas generaban mayores beneficios que la introducción de la competencia.

3.3. Evolución de los Indicadores

A continuación se presenta la evolución de algunos indicadores para América Latina y el Caribe. A partir de estos indicadores se pretende determinar el efecto de las diferentes reformas implementadas en la región. Debido a que las políticas establecidas difieren entre los países, en la sección 8.1 de este documento se evaluaron indicadores de oferta y demanda de manera individual para cada uno de ellos.

Gráfica 3-1 Demanda de electricidad (a) y Generación por tipo de fuente (b) en América Latina y el Caribe 1985-2002 (GWh)



Como se puede observar en la Gráfica 3-1(a), la demanda de electricidad presenta una tendencia creciente entre 1985 y 2002, en este periodo la demanda creció 103%, con un crecimiento promedio anual de 4.3%. En algunos países, el crecimiento de la demanda fue menor debido a limitado crecimiento económico.

La creciente demanda de electricidad impulsada por el aumento en la cobertura y los procesos de urbanización e industrialización de los países de la región, evidenció la necesidad de aumentar la capacidad de generación de energía eléctrica en los países. Entre 1985 y 2000 la participación de la población urbana sobre el total de la población creció en promedio 17 puntos porcentuales para los países de la región, mientras que el valor agregado de la industria como porcentaje del PIB se ubicó en promedio en el 40%⁹ entre 1980 y 2002 en América Latina y el Caribe.

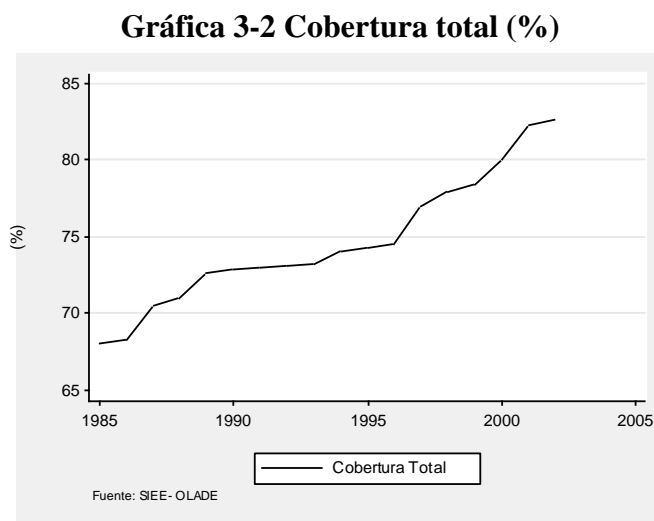
En la parte (b) de la Gráfica 3-1 al igual que la demanda de electricidad, se observa una tendencia creciente en la capacidad instalada, esta creció en promedio 3.9% anual entre 1985 y 2002. La oferta de energía presentó un crecimiento mayor en la década de los noventa (39%), periodo en el cual la mayoría de las reformas fueron implementadas, lo que demostró el aumento de la participación privada en el sector eléctrico.

Entre 1990 y 1999 el sector privado invirtió US\$16.000 millones en nueva capacidad y al final del periodo las amenazas de cortes del suministro eléctrico se habían reducido en casi todos los países. En los años noventa, América Latina tenía la mayor cantidad de proyectos de electricidad privados entre todos los países en desarrollo: según el Banco Mundial, de una inversión total de US\$193.000 millones en el mundo en desarrollo, US\$74.000 millones se invirtieron en América Latina. Brasil, Argentina y Colombia se encuentran entre los diez primeros países en desarrollo de todo el mundo con inversión privada en el sector eléctrico (Millán, 2006).

⁹ Datos sobre las cuentas nacionales del Banco Mundial. El término “industria” corresponde a las divisiones 10 a 45 de la CIU e incluye a las industrias manufactureras (divisiones 15 a 37 de la CIU). Comprende el valor agregado en explotación de minas y canteras.

De acuerdo a la capacidad instalada por tipo de fuente, entre 1985 y 2002 la oferta de electricidad a base de gas y diesel fueron las de mayor avance, con crecimientos del 205% y 160% respectivamente, lo cual cambió la tendencia de crecimiento de la generación hidroeléctrica, que en el mismo periodo creció 82%. Este cambio se presentó en gran medida debido a la necesidad de realizar proyectos de generación con tiempos más cortos en la ejecución para responder a la creciente demanda, al mismo tiempo, se necesitaba reducir la dependencia hacia la generación hidroeléctrica debido a que los factores de operación se ven afectados por fenómenos climáticos¹⁰ que perjudican la oferta de electricidad.

La Gráfica 3-2 muestra la evolución de la cobertura total (urbana y rural) del servicio en la región.



Se presentaron avances significativos en relación con la cobertura total, entre 1985 y 2002 la cobertura promedio de la región creció 22 puntos porcentuales y la tasa de crecimiento promedio anual fue del 1.2%. Para el año 2002, los países con mayor cobertura total fueron México (95%) y República Dominicana (92%), y los de menor cobertura

¹⁰Un ejemplo es el “El Niño” que es un fenómeno hidrometeorológico que se da en el pacífico; su origen se relaciona con el nivel de la superficie oceánica y sus irregularidades en la temperatura, trae consigo sequias e inundaciones de gran magnitud. Este fenómeno provocó racionamientos de electricidad en Colombia en 1992 y en Ecuador y Venezuela en 2009-2010.

Nicaragua (54%) y Honduras (60%). La cobertura en las aéreas urbanas superó el 90% en la mayoría de los países.

El avance en los índices de cobertura total, fue impulsado por las mejoras en la cobertura rural debido a los planes y programas implementados en las reformas. Los países de la región priorizaron los recursos en aumentar el servicio de electricidad en las zonas más aisladas (rurales). Brasil creó el programa “Electricidad para todos”, el cual buscaba proveer de electricidad a 12 millones de brasileros que vivían en zonas rurales en el 2008 (OLADE, 2005), Guatemala desarrolló el programa nacional de electrificación rural (PER) y Ecuador estableció el Fondo de electrificación rural y urbano marginal (FERUM).

Colombia a partir de la década del setenta mediante el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica –ICEL–, implementó programas de ampliación de cobertura con planes a través del BID que se concretaron en los programas PLAN NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL –PNER–, DESARROLLO RURAL INTEGRADO –DRI–; y actualmente con fondos financiados vía tarifa por los dueños de los activos del Sistema de Transmisión Nacional –STN–, ejecuta programas de expansión de cobertura y normalización de zonas subnormales de población como son el FONDO DE APOYO FINANCIERO PARA LA ENERGIZACIÓN DE LAS ZONAS RURALES INTERCONECTADAS –FAER–, PROGRAMA DE NORMALIZACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS –PRONE– y por los agentes generadores del mercado mayorista de energía financia el FONDO DE APOYO FINANCIERO PARA LA ENERGIZACIÓN DE LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS –FAZNI–, los cuales se complementan con inversiones financiadas por recursos de regalías cuya asignación se encuentra plenamente reglamentada. De igual manera, países como Bolivia, Chile, Ecuador, México, Panamá y Perú incluyeron dentro de su agenda planes de electrificación rural.

Respecto al comportamiento de las tarifas de electricidad para el sector residencial, las tendencias son heterogéneas entre los grupos de países, pues en unos aumentan y en otros permanecen constantes después de la entrada en vigencia de los regímenes tarifarios establecidos. En el sector industrial se observó una disminución en los precios de los

países que optaron por un modelo de mercado abierto¹¹, pues los grandes consumidores pudieron acceder a los mercados mayoristas de electricidad. Los precios de electricidad al por mayor disminuyeron hasta el 30% en Argentina¹² y el 20% en Colombia¹³. Lo anterior, permitió evidenciar en cada sector los costos reales de la prestación del servicio y la presencia de subsidios cruzados entre los diferentes segmentos de mercado antes de las reformas.

Nagayama (2007) a partir de un análisis empírico para 83 países, analizó el efecto de las reformas regulatorias en la industria sobre los precios de electricidad de países en desarrollo; como resultado obtuvo que contrario a las expectativas, se presentó una tendencia al alza en los precios. Para el caso de América Latina y el Caribe, la competencia en comercialización al por menor y la incorporación de un mercado mayorista de electricidad incrementaron los precios de los sectores. El establecimiento de un regulador independiente produjo un aumento en los precios del sector residencial, mientras que la desintegración del mercado implicó una reducción de los precios del sector industrial.

De manera general se puede mencionar que la dinámica de los indicadores demuestra los avances en los objetivos planteados durante el proceso de reforma en la región, estos avances se evidencian en la vinculación de nuevos agentes, el aumento de la cobertura, las mejoras en la calidad y la confiabilidad en la prestación del servicio. De igual manera, se generaron reglas y condiciones estables para incentivar la competencia y la inversión.

El ingreso de capital privado permitió solucionar los problemas de ineficiencia administrativa, el alto endeudamiento y las dificultades técnicas de las empresas; además, representó un alivio para las finanzas de los gobiernos debido a los ingresos que recibieron

¹¹Para mayor información ver sección 8.2

¹²Pollitt, Michael. 2004. Electricity reform in Argentina: Lessons for Developing Countries. Cambridge Working Paper in Economics. Cambridge, Reino Unido. En Millán, Jaime. Entre el Mercado y el Estado: Tres décadas de reformas en el sector eléctrico de América Latina. BID, 2006, p. 99.

¹³Ayala, Ulpiano, y Jaime Millán. 2003. Colombia: Coping with Reform Crisis. En Millán, Jaime. Entre el Mercado y el Estado: Tres décadas de reformas en el sector eléctrico de América Latina. BID, 2006, p. 99.

por la venta de las empresas; y el dinero asignado a la financiación de las mismas, se destinó a otros rubros para mayor beneficio de la población.

De las reformas implementadas en América Latina y el Caribe, se observa que los países de la región desarrollaron actividades comunes tendientes a optimizar el servicio de electricidad con beneficios representativos más en unos que en otros, orientados a proteger un servicio que es básico en el desarrollo de las naciones. Sin duda los modelos implementados requieren mejoras, pero se constituyen en referentes para los Gobiernos futuros que deben dedicar esfuerzos a mantenerlos y perfeccionarlos.

4. MODELO ECONOMÉTRICO

Para la estimación de los determinantes de la demanda de energía eléctrica en los sectores residencial e industrial, se utilizaron modelos lineales de regresión, teniendo en cuenta información a nivel de país para el periodo comprendido entre 1980-2002¹⁴. Se incluyeron datos para 19 países de América Latina y el Caribe, dentro de los cuales se encuentran: Argentina, Barbados, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guatemala, El Salvador, México, República Dominicana, Honduras, Panamá, Paraguay, Uruguay, Nicaragua, Costa Rica, Venezuela, Perú y Bolivia. La información proviene del Sistema de Información Económica Energética (SIEE) de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)¹⁵, de las estadísticas de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPALSTAT), indicadores de desarrollo del Banco Mundial, base de datos Naciones Unidas (UNdata) y los indicadores de derechos políticos y libertades civiles de la organización *Freedom House*¹⁶.

En la Tabla 4-1 se describen las variables utilizadas en el análisis de la demanda de energía eléctrica, cuya elección tiene en cuenta la representación de la función de demanda por energía eléctrica considerada en la literatura empírica y el enfoque sugerido por Narayan *et al.* (2005) y Atakhanova *et al.* (2007).

¹⁴ Dado que el objetivo del documento es evaluar el efecto de la reforma del sector eléctrico sobre la elasticidad precio de la demanda, se consideró el periodo de tiempo en el cual todos los países incluidos en la muestra implementaron la reforma. Adicionalmente, en la década de 2000's, el proceso de desarrollo del sector energético en los países se ha diferenciado de manera importante de acuerdo con la disponibilidad de las fuentes de energía primaria (p. e.j. posicionamiento del mercado de gas natural), por tanto para ampliar la muestra se requiere una base de datos mucho más detallada. Durante el trabajo se incorporó información hasta el año 2008 con el fin de ampliar el periodo de análisis de la implementación de las reformas, sin embargo, para muchos de los países no estaba disponible toda la información.

¹⁵ El acceso a la base de datos se puede realizar adquiriendo una suscripción a través de la página web de OLADE.

¹⁶ Los indicadores de derechos políticos y libertades civiles se estiman a partir de una encuesta realizada por la organización *Freedom House* para cada uno de los países, construyendo un indicador con base en diferentes componentes asociados a cada ítem. En particular, para el caso del indicador de derechos políticos se tiene en cuenta factores como el proceso electoral, participación política, funcionamiento del gobierno; mientras que para el indicador libertades civiles se considera la libertad de expresión y creencias, derecho a la asociación, seguimiento a las leyes, autonomía y derechos individuales.

Tabla 4-1 Descripción del conjunto de datos empleados en el análisis de la demanda de energía eléctrica en el sector residencial e industrial

| VARIABLES | SIGNO ESPERADO | INTERPRETACIÓN | FUENTE |
|--|-----------------------|---|--|
| Consumo de Electricidad (kWh) | Variable dependiente | Consumo de electricidad en los sectores residencial e industrial. La electricidad en el sector residencial es empleada para iluminación, utilización de electrodomésticos y cocción, y en el sector industrial en la utilización de maquinaria con motores eléctricos. | Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (1980-2002) |
| Precio electricidad (US\$/kWh) | Negativo | Precio promedio cobrado a los usuarios de cada sector. El incremento en el precio del kWh de la electricidad desestimula a los usuarios a consumir más cantidad de electricidad. | Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (1980-2002) |
| Ingreso per cápita real (US\$ constantes 1990) | Positivo | Se aproxima al ingreso de cada uno de los usuarios del servicio, dado que la electricidad se considera un bien normal, aumentos en el ingreso permite a los usuarios tener mayor capacidad de pago y por ende un mayor consumo de electricidad. | Base de datos Naciones Unidas. (1980-2002) |
| Precio Gas Licuado de Petróleo (US\$/ kWh) | Positivo | Sustituto de la energía eléctrica en la cocción de alimentos y calefacción. Entre mayor sea el precio del GLP mayor será la demanda de electricidad. | Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (1980-2002) |
| Precio Gas Natural (US\$/ kWh) | Positivo | Se caracteriza por ser un bien sustituto de la electricidad por sus aplicaciones en los procesos industriales como cocción de productos cerámicos, producción de petroquímicos, sistemas de calefacción e industria de alimentos. Para el sector residencial se emplea en la cocción y calefacción. El aumento en el precio del gas natural, estimula a los usuarios a demandar más electricidad. | Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (1980-2002) |
| Precio Fuel Oil (US\$/ kWh) | Positivo | Sustituto como fuente de energía en los procesos industriales. Entre mayor sea su precio se demandará mayor cantidad de energía eléctrica | Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (1980-2002) |
| Precio Diesel (US\$/ kWh) | Positivo | Combustible para plantas y maquinaria en los procesos industriales. Entre mayor sea su precio se demandará mayor cantidad de energía eléctrica. | Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (1980-2002) |

| | | | |
|---|----------|---|--|
| Precio relativo de la energía eléctrica frente a energéticos sustitutos | Negativo | Permite conocer la magnitud del impacto de los precios de la electricidad contra los precios de los energéticos sustitutos (Gas natural, Gas licuado de petróleo, Diesel y Fuel oil) en determinada cantidad demandada de electricidad, se espera que esté relacionado negativamente con la cantidad demandada de electricidad. | Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (1980-2002) |
| Población | Positivo | Entre mayor sea la población se espera una mayor demanda de energía eléctrica. | Banco Mundial. (1980-2002) |
| Índice de apertura comercial (%) | Positivo | Es la suma de las exportaciones e importaciones como porcentaje del PIB. Se espera que entre mayor sea el grado de apertura de la economía aumente la cantidad demandada de electricidad. | Banco Mundial. (1980-2002) |
| Derechos políticos y Libertades civiles | Negativo | Indicadores anuales construidos por la organización <i>Freedom House</i> desde 1972, los indicadores se miden en una escala del 1 al 7, donde 1 representa el mayor grado de libertad y 7 el más bajo. Entre mayor sea el indicador, existen menos derechos políticos y libertades civiles, y por lo tanto se demandará menos electricidad. | Freedom House. (1980-2002) |

Nota: kwh= kilovatios hora, US\$= Dólares Americanos, US\$/kwh= Dólares Americanos por kilovatio hora. Fuente: Elaboración autor

Con el fin de obtener más información acerca de las variables consideradas, las Tablas 4-2 y 4-3 muestran los promedios y los errores estándares¹⁷ de las variables empleadas en el análisis de la demanda por energía eléctrica para cada uno de los países y para el total de la región.

Tabla 4-2. Promedio de las variables para el análisis de la demanda de energía eléctrica por país

| País | PIB per-cápita (1) | Población (2) | Derechos políticos (3) | Libertades civiles (4) | Índice Apertura (5) |
|-----------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| Argentina | 5,247.04 (21.230) | 32,981,168 (130,167.682) | 2.391 (0.057) | 2.739 (0.044) | 18.422 (0.260) |
| Barbados | 6,586.55 (129.584) | 255,133 (751) | 1.000 (0.000) | 1.087 (0.060) | 113.455 (3.055) |

¹⁷ Los cálculos de los promedios y los errores estándar se realizó para el periodo de análisis 1980-2002.

| | | | | | |
|----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|------------------|--------------------|
| Bolivia | 787.762 (12.933) | 6,897,212 (215,230) | 2.087 (0.251) | 3.13 (0.095) | 47.894 (0.762) |
| Brasil | 3,313.54 (35.990) | 151,344,863 (3,656,417) | 2.652 (0.135) | 3.13 (0.145) | 18.468 (0.696) |
| Chile | 2,938.08 (172.113) | 13,454,973 (308,075) | 3.609 (0.406) | 3.13 (0.310) | 56.039 (1.430) |
| Colombia | 1,620.67 (34.346) | 33,977,652 (901,429) | 2.783 (0.188) | 3.609 (0.104) | 32.465 (0.902) |
| Costa Rica | 2,529.53 (69.816) | 3,179,611 (113,122) | 1.043 (0.044) | 1.435 (0.106) | 75.273 (2.979) |
| Ecuador | 1,480.07 (53.524) | 7,457,138 (199,744) | 1.957 (0.194) | 2.783 (0.088) | 55.273 (1.461) |
| El Salvador | 1,137.50 (9.202) | 10,427,736 (308,058) | 2.174 (0.081) | 2.696 (0.117) | 55.261 (1.876) |
| Guatemala | 1,026.78 (33.238) | 5,398,635 (92,053) | 3.000 (0.178) | 3.652 (0.162) | 42.068 (2.185) |
| Honduras | 821.145 (13.087) | 9,220,071 (303,816) | 3.783 (0.217) | 4.435 (0.207) | 79.300 (4.683) |
| México | 770.928 (6.769) | 5,030,210 (184,003) | 2.696 (0.193) | 3.00 (0.000) | 41.752 (3.093) |
| Nicaragua | 3,625.15 (53.034) | 84,563,989 (2,133,292) | 3.348 (0.149) | 3.696 (0.117) | 61.661 (3.562) |
| Panamá | 841.213 (29.304) | 4,267,877 (131,546) | 4.087 (0.235) | 4.087 (0.217) | 158.246 (5.455) |
| Paraguay | 2,845.91 (68.973) | 2,479,513 (71,551) | 3.609 (0.381) | 3.261 (0.237) | 73.685 (6.090) |
| Perú | 1,084.48 (9.037) | 4,326,757 (161,449) | 4.261 (0.169) | 3.913 (0.251) | 32.511 (1.034) |
| República Dominicana | 1,633.42 (37.243) | 22,150,988 (613,251) | 3.304 (0.311) | 3.609 (0.151) | 68.414 (3.165) |
| Uruguay | 3,225.60 (94.559) | 3,127,349 (27,448) | 2.217 (0.350) | 2.435 (0.265) | 39.628 (0.971) |
| Venezuela | 2,509.50 (35.972) | 20,196,248 (649,485) | 1.913 (0.226) | 2.870 (0.192) | 48.466 (0.971) |
| Total | 2,317.10 | 22,144,059 | 2.732 | 3.089 | 58.857 |

Notas: Error estándar en paréntesis, (1): Dólares constantes a precios 1990, (2): Número de habitantes, (3) y (4): Los indicadores organización *Freedom House* se miden en escala del 1 al 7, donde 1 representa un mayor grado de libertad y 7 el más bajo.

Fuente: Cálculos autor

Tabla 4-3. Promedio de las variables para el análisis de la demanda de energía eléctrica por país para el sector residencial

| País | Precio energía eléctrica (2) | Consumo per-cápita (kWh) | Precio gas natural (2) | Precio gas licuado (2) |
|----------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| Argentina | 0.137 (0.013) | 718.699 (22.400) | 0.021 (0.001) | 0.061 (0.007) |
| Barbados | 0.246 (0.009) | 1,032.70 (16.302) | 0.096 (0.002) | 0.12 (0.005) |
| Bolivia | 0.074 (0.006) | 123.598 (6.306) | 0.022 (0.001) | 0.024 (0.002) |
| Brasil | 0.108 (0.007) | 336.332 (19.233) | 0.003 (0.001) | 0.046 (0.003) |
| Chile | 0.163 (0.010) | 408.277 (21.083) | 0.012 (0.004) | 0.073 (0.003) |
| Colombia | 0.061 (0.004) | 321.138 (9.184) | 0.013 (0.001) | 0.028 (0.002) |
| Costa Rica | 0.083 (0.004) | 586.993 (12.947) | - - | 0.055 (0.004) |
| Ecuador | 0.073 (0.008) | 195.56 (9.282) | - - | 0.019 (0.004) |
| El Salvador | 0.101 (0.006) | 147.531 (10.966) | - - | 0.056 (0.006) |
| Guatemala | 0.143 (0.019) | 86.184 (5.505) | - - | 0.046 (0.004) |
| Honduras | 0.133 (0.011) | 166.948 (7.925) | - - | 0.07 (0.006) |
| México | 0.071 (0.004) | 261.466 (15.461) | 0.017 (0.001) | 0.027 (0.002) |
| Nicaragua | 0.15 (0.012) | 91.153 (1.452) | - - | 0.049 (0.003) |
| Panamá | 0.21 (0.011) | 298.312 (10.586) | - - | 0.053 (0.005) |
| Paraguay | 0.112 (0.014) | 306.181 (32.651) | - - | 0.06 (0.005) |
| Perú | 0.094 (0.010) | 210.199 (4.718) | - - | 0.047 (0.005) |
| República Dominicana | 0.13 (0.010) | 333.805 (18.848) | - - | 0.03 (0.005) |
| Uruguay | 0.157 | 619.204 | - | 0.09 |

| | | | | |
|-----------|---------|----------|---------|---------|
| | (0.008) | (32.698) | - | (0.006) |
| Venezuela | 0.057 | 541.993 | 0.006 | 0.018 |
| | (0.006) | (15.458) | (0.001) | (0.001) |
| Total | 0.121 | 357.173 | 0.010 | 0.051 |

Notas: (1) Error estándar en paréntesis; (2) Los precios están en \$US/kWh

Fuente: Cálculos autor

Tabla 4-4. Promedio de las variables para el análisis de la demanda de energía eléctrica por país para el sector industrial.

| País | Precio energía eléctrica (2) | Consumo per-cápita (kWh) | Precio Diesel (2) | Precio Fuel Oil (2) | Precio Gas Natural (2) |
|-------------|------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| Argentina | 0.096 (0.007) | 418.847 (21.556) | 0.046 (0.003) | 0.02 (0.001) | 0.015 (0.001) |
| Barbados | 0.259 (0.010) | 253.934 (24.046) | 0.066 (0.002) | 0.025 (0.002) | 0.087 (0.002) |
| Bolivia | 0.084 (0.005) | 98.461 (6.656) | 0.046 (0.002) | 0.031 (0.002) | 0.008 (0.000) |
| Brasil | 0.066 (0.004) | 751.172 (19.004) | 0.05 (0.003) | 0.023 (0.001) | 0.026 (0.003) |
| Chile | 0.09 (0.005) | 999.23 (87.887) | 0.057 (0.004) | 0.027 (0.003) | 0.01 (0.001) |
| Colombia | 0.097 (0.004) | 234.216 (7.564) | 0.029 (0.002) | 0.013 (0.001) | 0.011 (0.001) |
| Costa Rica | 0.107 (0.004) | 302.365 (12.019) | 0.047 (0.004) | 0.019 (0.001) | - - |
| Ecuador | 0.088 (0.007) | 159.665 (3.337) | 0.021 (0.001) | 0.011 (0.001) | - - |
| El Salvador | 0.121 (0.007) | 155.84 (14.785) | 0.054 (0.005) | 0.026 (0.002) | - - |
| Guatemala | 0.164 (0.018) | 84.203 (4.025) | 0.047 (0.003) | 0.028 (0.002) | - - |
| Honduras | 0.121 (0.006) | 119.936 (4.447) | 0.052 (0.003) | 0.028 (0.001) | - - |
| México | 0.073 (0.007) | 654.623 (166.569) | 0.038 (0.011) | 0.01 (0.004) | 0.013 (0.005) |
| Nicaragua | 0.146 (0.009) | 91.154 (4.220) | 0.055 (0.004) | 0.023 (0.002) | - - |
| Panamá | 0.179 (0.009) | 176.528 (6.255) | 0.052 (0.003) | 0.028 (0.002) | - - |

| | | | | | |
|----------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| Paraguay | 0.082 (0.011) | 141.103 (7.322) | 0.061 (0.007) | 0.025 (0.002) | - - |
| Perú | 0.085 (0.003) | 190.57 (9.040) | 0.042 (0.002) | 0.024 (0.001) | - - |
| República Dominicana | 0.183 (0.015) | 181.513 (25.854) | 0.042 (0.003) | 0.023 (0.001) | - - |
| Uruguay | 0.1 (0.004) | 429.29 (10.008) | 0.064 (0.003) | 0.026 (0.002) | - - |
| Venezuela | 0.046 (0.005) | 1,158.48 (25.019) | 0.006 (0.001) | 0.004 (0.000) | 0.002 (0.000) |
| Total | 0.115 | 347.428 | 0.046 | 0.022 | 0.024 |

Notas: (1) Error estándar en paréntesis; (2) Los precios están en \$US/kWh

Fuente: Cálculos autor

De los promedios de las variables explicativas se obtienen las siguientes conclusiones:

- En relación con el consumo per cápita, Barbados es el país que en promedio tiene el mayor consumo residencial per cápita y Venezuela el mayor consumo industrial per cápita, los países de menor consumo per cápita en ambos sectores son Guatemala y Nicaragua.
- Brasil es el país con mayor población y mayor demanda residencial e industrial total, sin embargo, no presenta la mayor demanda en términos per cápita de la región y es uno de los países con menor nivel de apertura promedio de toda la región.
- Venezuela tiene los menores precios en promedio para todos los energéticos en los sectores residencial e industrial, estos precios incentivan el consumo de electricidad industrial, pues presenta mayor consumo de electricidad per cápita de la región para este sector.
- En general, los países con mayor PIB per cápita promedio presentan un mayor consumo per cápita de electricidad en el sector residencial, mientras que los países con menores niveles de PIB per cápita promedio tienen menor población, menor cantidad demandada de energía eléctrica per cápita por el sector residencial e índices más altos de libertades civiles y derechos políticos, es decir, son catalogados como países menos “*libres*”.

- Puede pensarse que los países con bajos niveles en los indicadores de libertades civiles y derechos políticos, tienen menores restricciones al funcionamiento de los mercados y por tanto presentarían mayores niveles de consumo, sin embargo, los resultados sugieren que no existe una evidencia empírica fuerte sobre este hecho en relación con el consumo per cápita promedio de energía eléctrica para el sector industrial.

De acuerdo con la información anterior y considerando que agregando la información a nivel de país y en el tiempo, se pueden generar problemas de heteroscedasticidad, auto-correlación y/o sesgo por heterogeneidad no observable, se estimaron modelos tipo panel, los cuales permiten reducir el sesgo generado al no considerar factores idiosincráticos de los individuos (en este caso países), y al mismo tiempo permiten analizar y/o controlar la dinámica del conjunto de datos.

Se estimaron tres tipos de modelos para cada uno de los sectores (residencial e industrial): modelo tipo *pool*, modelo con efectos fijos y modelo de efectos aleatorios; estos últimos fueron ampliados para controlar una posible auto-correlación entre paneles o presencia de heteroscedasticidad a través de la estimación de modelos del tipo *Time Series Cross Section*, considerando que la dimensión temporal es potencialmente mayor al número de individuos, contexto en el cual el control de auto-correlación se hace importante y la estimación de efectos fijos puede generar sesgo cuando se cuenta con pocos periodos de tiempo (Nickell, 1981).

Se realizó una estimación de la demanda de electricidad donde se incluyó una variable de implementación de las reformas, esto con el fin de capturar el cambio en la elasticidad precio de la demanda que las reformas pudieron generar¹⁸. Así, la especificación estimada está dada por:

¹⁸ Adicionalmente fue estimado un modelo para cada sector (residencial e industrial) sin considerar los efectos de la reforma, esto con el fin de tener una referencia de la elasticidad precio, ingreso y cruzada de la demanda para todo el periodo de estudio. En el Anexo 8.3 de este documento se encuentran los resultados de la estimación.

$$\log Q_{it} = \alpha_i + \mu_t + \beta_1 \log P_{Q_{it}} + \beta_2 \log P_{X_{it}} + \beta_3 \log Y_{it} + \beta_4 \log Z_{it} + \beta_5 \log P_{Q_{it}} * Dref_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde i corresponde al país y t al tiempo, Q_{it} corresponde al consumo de electricidad en kWh para el sector residencial e industrial, α_i factor idiosincrático que no cambia con el tiempo, μ_t tiene en cuenta la existencia de efectos comunes en el tiempo para todos los países, $P_{Q_{it}}$ es precio promedio de electricidad (\$US/kWh)¹⁹, $P_{X_{it}}$ es el precio promedio de los bienes sustitutos (\$US/kWh)²⁰, Y_{it} es el ingreso per cápita real, Z_{it} es un vector de características de los países que ayudan a explicar el comportamiento de la demanda por energía eléctrica, la variable $Dref_{it}$, es una variable indicador que tomar valor de 1 a partir de la implementación de la reforma en el sector eléctrico²¹ y ε_{it} es el término de error que se distribuye normal con media cero y matriz de varianza escalar.

La especificación del modelo sigue la literatura empírica de la demanda de electricidad, principalmente en el empleo de la variable consumo como proxy de la demanda, esto considerando que la electricidad se encuentra disponible en cualquier momento sin restricciones a un precio dado y por lo tanto los datos de consumo reflejarían los cambios en la demanda²².

¹⁹A pesar de las diferencias en los esquemas tarifarios de los países, es posible hacerlos comparables tomando el precio promedio por kWh.

²⁰los precios nominales fueron deflactados a partir del índice de precios del consumidor de Estados Unidos.

²¹El criterio de selección del año de la reforma se basó en el establecimiento de Leyes que implicaron cambios sustanciales en la estructura del sector eléctrico en cada uno de los países de la región.

²² Ver Narayan & Smyth (2005), Amarawickrama & Hunt (2008) y Nakajima & Hamori (2010) para más información.

5. RESULTADOS

A continuación se encuentran los resultados de los modelos que más se ajustaron a las variables explicativas de la demanda de electricidad para el sector residencial e industrial²³.

Sector Residencial

La Tabla 5-1 muestra los resultados de la estimación para el modelo agrupado, el modelo con efectos aleatorios y el modelo con efectos fijos. De acuerdo con la prueba de Hausman, el estimador de efectos fijos resultó ser más consistente. Se presentan los resultados de seis modelos, los tres primeros modelos representan una función de demanda básica en la que solo se considera como variable explicativa el precio del bien, la población, el PIB per cápita y la variable asociada a las reformas del sector eléctrico²⁴.

Los modelos (4), (5) y (6) consideran el precio del energético alternativo, en este caso el precio del gas licuado de petróleo expresado de forma diferente en cada modelo, en el modelo (4) se incluye el precio del gas licuado de petróleo, en el modelo (5) se considera la diferencia del precio del gas licuado de petróleo como instrumento para evitar posibles problemas de endogeneidad en la estimación y en el modelo (6) se incluye el precio relativo de la electricidad respecto al gas licuado de petróleo reduciendo el número de variables explicativas.

²³Las variables de apertura económica, derechos políticos, libertades civiles y el precio del gas natural no resultaron significativas en los modelos estimados. Aunque el sector industrial emplea en su mayoría como fuente de energía el gas natural, la no significancia de la variable se debe a la poca información disponible en muchos de los países de América Latina y el Caribe.

²⁴ Se realizaron otros análisis para ver las variaciones en las elasticidades precio cruzada e ingreso de la demanda antes y después de la implementación de las reformas, pero las variaciones resultaron no significativas.

Tabla 5-1 Resultados sector residencial con reforma modelo efectos fijos

| Variable | Modelo (1) <i>pool</i> | Modelo (2) <i>random effects</i> | Modelo (3) <i>fixed effects</i> | Modelo (4) <i>fixed effects</i> | Modelo (5) <i>fixed effects</i> | Modelo (6) <i>fixed effects</i> |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Log precio energía eléctrica | -0.7982*** (0.104) | -0.0208 (0.021) | -0.0047 (0.018) | 0.0119 (0.022) | -0.0608 (0.054) | |
| Log reforma energía eléctrica | -0.2360*** (0.053) | -0.0165 (0.012) | 0.0078 (0.010) | 0.0073 (0.012) | -0.0084 (0.023) | |
| Log PIB per cápita | 0.4288*** (0.088) | 0.3651*** (0.072) | 0.3375*** (0.075) | 0.3557*** (0.069) | -0.0002 (0.168) | 0.3524*** -0.069 |
| Log precio glp | | | | -0.0293 (0.020) | | |
| Log población | 0.3869*** (0.042) | 1.9422*** (0.086) | 2.1965*** (0.085) | 2.1787*** (0.090) | 2.1655*** (0.093) | 2.1860*** -0.077 |
| Dif. Log precio glp | | | | | 0.0233 (0.025) | |
| Log precio relativo glp | | | | | | 0.0278 |
| Log reforma precio relativo | | | | | | -0.019 -0.0177 -0.023 |
| Constant | -3.5506*** (0.930) | -26.0390*** (1.406) | -29.8472*** (1.401) | -29.7721*** (1.429) | -29.6602*** -1.459 | -29.8228*** -1.249 |
| Observations | 437 | 437 | 437 | 432 | 413 | 432 |
| R-squared | 0.355 | | 0.798 | 0.796 | 0.786 | 0.795 |
| Number of país | | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Cálculos autor

Debido a los problemas potenciales que se pueden presentar por la existencia de correlación entre paneles, se realizó una estimación con mínimos cuadrados generalizados, cuyos resultados se presentan en la Tabla 5-2. Los tres modelos se diferencian en la forma en que se encuentra expresado el precio del energético sustituto.

Tabla 5-2 Resultados sector residencial modelo mínimos cuadrados generalizados

| Variable | Modelo (1) | Modelo (2) | Modelo (3) |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | <i>FGLS</i> | <i>FGLS</i> | <i>FGLS</i> |
| Log precio energía eléctrica | -0.6893*** (0.014) | -0.6812*** (0.011) | |
| Log reforma energía eléctrica | -0.2753*** (0.005) | -0.2799*** (0.005) | |
| Log PIB per cápita | 0.2688*** (0.010) | 0.2696*** (0.008) | -0.0074 (0.006) |
| Log precio glp | 0.0073 (0.012) | | |
| Log población | 0.4479*** (0.005) | 0.4482*** (0.005) | 0.5509*** (0.002) |
| Dif. Log precio glp | | 0.2490*** (0.018) | |
| Log precio relativo glp | | | -0.3354*** (0.007) |
| Log reforma precio relativo | | | 0.1638*** (0.006) |
| Constant | -3.1038*** (0.130) | -3.1247*** (0.101) | -0.6402*** (0.041) |
| Observations | 391 | 374 | 391 |
| Number of país | 17 | 17 | 17 |

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Cálculos autor

Los resultados de las estimaciones con mínimos cuadrados generalizados fueron más significativos que los presentados en la Tabla 5-1, de los tres modelos estimados, se puede observar que en el modelo (2) los coeficientes presentan los signos esperados y las variables son significativas estadísticamente al 1%. La elasticidad precio para el consumo tiene signo negativo, lo cual ocasiona que aumentos en el precio promedio disminuya el consumo de electricidad. Con la implementación de las reformas el consumo de electricidad se volvió más sensible a las variaciones de los precios promedio, pues la elasticidad aumentó a -0.96.

La elasticidad precio respecto a la diferencia del precio del gas licuado de petróleo fue positiva y significativa, indicando que son bienes sustitutos. La elasticidad ingreso fue significativa y positiva, como se esperaba, la electricidad es un bien normal, pues un aumento en el ingreso ocasiona incrementos en la demanda. Igualmente, se observa que la

elasticidad ingreso se encuentra entre cero y uno, lo que implica que es un bien necesario, por lo tanto, la demanda crece menos que proporcionalmente con aumentos en el ingreso.

Los resultados de este análisis se encuentran acorde con lo reportado en la literatura existente, la elasticidad precio en España fue -0.6 de acuerdo con Fernandez (1999), para la India Bose y Shukla (1999) encontraron una elasticidad de -0.65, en el Reino Unido el resultado de Houthakker (1951) fue -0.89 y para Estados Unidos fue de -0.85 estimada por Kamerschen y Porter (2004). La elasticidad ingreso varia considerablemente entre los diferentes estudios, el resultado de este estudio es cercano al resultado encontrado por Narayan *et al.* (2007) de 0.24 para los países del G7, a la elasticidad ingreso de 0.3 de los países de la OECD estimado por Gang (2004) y de 0.38 estimado por Nakajima y Hamori (2009) para Estados Unidos. El resultado de la elasticidad precio cruzada considerando el precio del gas licuado fue en Chile de 0.02 estimado por Benavente, Galetovic *et al.* (2005) y de 0.14 estimado por Agostini *et al.* (2006). (Para mayor información sobre resultados de estudios empíricos de la demanda de electricidad ver sección 8.4).

Sector Industrial

Al igual que para el sector residencial, se estimaron tres tipos de modelos, con el fin de escoger el que más se ajusta a los datos del sector industrial, se estimó un modelo agrupado o *pool*, un modelo de efectos fijos y un modelo de efectos aleatorios. De acuerdo con la prueba de Hausman, el estimador de efectos aleatorios es más consistente para las estimaciones del sector industrial.

La estructura de los resultados es la misma que para el sector residencial, la Tabla 5-3 presenta los resultados de seis modelos, los tres primeros representan una función de demanda básica que considera como determinantes de la demanda el precio del bien, la población PIB per cápita y la variable asociada a las reformas del sector eléctrico.

Los modelos (4), (5) y (6) consideran el precio del *fuel oil* como energético sustituto, la diferencia en los modelos estimados radica en la representación del precio del *fuel oil*. En

el modelo (4) se incluye el precio del *fuel oil*, en el modelo (5) se considera la diferencia del precio del *fuel oil* como instrumento para evitar posibles problemas de endogeneidad en la estimación y en el modelo (6) se incluye el precio relativo de la electricidad respecto al *fuel oil* reduciendo el número de variables explicativas.

Tabla 5-3 Resultados sector industrial modelo efectos aleatorios

| Variable | Modelo (1) <i>pool</i> | Modelo (2) <i>random effects</i> | Modelo (3) <i>fixed effects</i> | Modelo (4) <i>random effects</i> | Modelo (5) <i>random effects</i> | Modelo (6) <i>random effects</i> |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Log precio energía eléctrica | -1.7719*** (0.125) | -0.0791*** (0.030) | -0.0630** (0.030) | -0.0756** (0.032) | -0.0809*** (0.031) | |
| Log reforma energía eléctrica | -0.1496*** (0.056) | 0.0017 (0.014) | 0.0199 (0.014) | 0.0021 (0.014) | 0.0042 (0.014) | |
| Log PIB per cápita | 0.2587*** (0.095) | 0.9526*** (0.090) | 0.9626*** (0.089) | 0.9562*** (0.093) | 0.9862*** (0.094) | 0.9741*** (0.092) |
| Log precio fuel oil | | | | -0.0072 (0.033) | | |
| Log población | 0.5133*** (0.048) | 1.3125*** (0.102) | 1.5054*** (0.113) | 1.3268*** (0.104) | 1.3175*** (0.110) | 1.4171*** (0.102) |
| Dif. Log precio glp fuel oil | | | | | 0.0818* (0.045) | |
| Log precio relativo fuel oil | | | | | | -0.0349 (0.026) |
| Log reforma precio relativo | | | | | | -0.0042 (0.019) |
| Constant | -6.5587*** (1.006) | -20.5592*** (1.671) | -23.6713*** (1.791) | -20.8350*** (1.702) | -20.8935*** (1.757) | -22.1538*** (1.725) |
| Observations | 437 | 437 | 437 | 434 | 415 | 434 |
| R-squared | 0.537 | | 0.620 | | | |
| Number of país | | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Cálculos autor

La Tabla 5-4 muestra los resultados de la estimación con mínimos cuadrados generalizados. Al igual que en los modelos anteriores, la diferencia entre estos modelos se encuentra en la representación del precio del *fuel oil*.

Tabla 5-4 Resultados sector industrial con mínimos cuadrados generalizados

| Variable | Modelo (1) | Modelo (2) | Modelo (3) |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | <i>FGLS</i> | <i>FGLS</i> | <i>FGLS</i> |
| Log precio energía eléctrica | -1.0268*** (0.020) | -1.2820*** (0.021) | |
| Log reforma energía eléctrica | -0.1534*** (0.006) | -0.1540*** (0.007) | |
| Log PIB per cápita | 0.4917*** (0.014) | 0.5167*** (0.013) | 0.5402*** (0.005) |
| Log precio fuel oil | -0.4313*** (0.015) | | |
| Log población | 0.8050*** (0.007) | 0.8079*** (0.008) | 0.9974*** (0.003) |
| Dif. Log precio fuel oil | | 0.0915*** (0.033) | |
| Log precio relativo fuel oil | | | -0.1050*** (0.005) |
| Log reforma precio relativo | | | 0.2868*** (0.005) |
| Constant | -12.7808*** (0.167) | -11.9384*** (0.200) | -11.9514*** (0.058) |
| Observations | 414 | 396 | 414 |
| Number of país | 18 | 18 | 18 |

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Cálculos autor

De acuerdo con los resultados de la Tabla 5-4, las elasticidades de los modelos (2) y (3) presentan los signos y las magnitudes esperadas. El consumo de electricidad del sector industrial es elástico al precio, pues su coeficiente es mayor a 1, con la implementación de la reforma, se puede observar que el consumo del sector industrial es más elástico respecto al precio promedio de la electricidad.

La elasticidad respecto a la diferencia del precio del *fuel oil* es significativa y presenta signo positivo, indicando que son bienes sustitutos. En el modelo (3), se puede apreciar que el coeficiente del precio promedio relativo de la electricidad respecto al *fuel oil* se relaciona negativamente con el consumo, sin embargo, con la implementación de la reforma la relación entre el consumo y el precio relativo se vuelve positiva, cambiando a una relación complementaria entre el *fuel oil* y la electricidad.

La elasticidad ingreso se encuentra entre cero y uno, por lo tanto, la electricidad se comporta como un bien normal y necesario en el sector industrial.

En comparación con otros estudios que estiman la demanda de electricidad para el sector industrial, el resultado de la elasticidad precio obtenido en este trabajo es similar al de Fisher y Kaysen (1962) donde encontraron una elasticidad precio igual a -1.25 y se diferencia del resultado obtenido para la India por Bose y Shukla (1999) el cual fue de -0.45 para la elasticidad precio y de 1.05 en la elasticidad ingreso, para los países de la OECD, Gang (2004) encontró una elasticidad precio de -0.04 y una elasticidad ingreso de 0.3 en el corto plazo y de 1.03 en el largo plazo, y para Kazakhsatan Atakhanova y Howie (2007) obtuvieron una elasticidad ingreso de 0.12 en el corto plazo y 0.79 en el largo plazo.

Considerando los resultados obtenidos para los sectores residencial e industrial, es importante resaltar la limitación que se presenta en las estimaciones debido a la restricción en el número de observaciones para el periodo antes y después de las reformas. Se debe considerar esta limitación para análisis posteriores de la elasticidad precio de la demanda de la electricidad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo estudió empíricamente el efecto de las reformas sobre la demanda de electricidad de los sectores residencial e industrial por medio de un modelo de datos panel. En las estimaciones realizadas, se encontraron cambios importantes en los patrones de consumo a nivel residencial e industrial para el periodo 1980-2002 debido a la implementación de los nuevos modelos económicos e institucionales en el sector eléctrico de los países de América Latina y el Caribe.

En el sector industrial la elasticidad se incrementó debido a las reformas del sector eléctrico, pues el acceso de grandes consumidores a los mercados mayoristas de electricidad, permitió que los usuarios tomaran sus decisiones de consumo de acuerdo con el comportamiento del mercado y no con los precios impuestos por los gobiernos. Aunque con la implementación de las reformas el consumo del sector residencial se volvió más sensible ante los cambios en los precios, este continuó siendo inelástico para el periodo analizado, porque los esquemas tarifarios muchas veces no permitían que las señales del mercado se transfieran de manera directa al precio final de los usuarios regulados.

Para el periodo de estudio analizado, se demostró que la electricidad es un bien normal y necesario para los sectores residencial e industrial. Para el sector residencial, se encontró evidencia de poca sustitución entre la electricidad y el gas licuado de petróleo, aunque ambos se utilizan en la cocción de alimentos, la electricidad y el gas licuado de petróleo se diferencian en que el primero además de la cocción de alimentos, se emplea en la iluminación y como fuente de energía para el uso de electrodomésticos. Para el sector industrial, los resultados obtenidos indican una relación complementaria entre la electricidad y el *fuel oil* después de las reformas.

Teniendo en cuenta la experiencia de los países de América Latina y el Caribe en la implementación de las reformas estructurales en la década de los noventa, y considerando la respuesta del consumo al cambio en los precios por parte de los sectores residencial e industrial presentada en este estudio, se recomienda incorporar dentro de los análisis de las

futuras reformas del sector eléctrico y políticas energéticas de integración regional, los resultados de este estudio e incluir análisis de este tipo en la evaluación de los efectos que se pueden generar en el comportamiento de los diferentes sectores económicos. De igual manera, se recomienda emplear información desagregada por tipo de industria, esto con el fin de evaluar los efectos de la reforma de manera más precisa sobre este sector de consumo.

7. BIBLIOGRAFÍA

Agostini, Claudio, Cecilia Plottier & Eduardo Saavedra (2009). “La Demanda Residencial por Energía Eléctrica en Chile”. Ildes-Georgetown University Working papers. Disponible en:

Al-Faris, Abdul Razak (2002). “The Demand for electricity in the GCC countries”. *Energy Policy*, Vol 30 Issue 2. pp. 117-124.

Alvarez, Ana Maria & Marina Bidart (2007). “Situación de los mercados energéticos de América Latina desde la perspectiva de la regulación y las políticas de competencia. Sección de Políticas de Competencia y Protección del Consumidor, UNCTAD.

Amarawickrama, Himanshu & Lester Hunt (2008). “Electricity demand for Sri Lanka: A time series analysis”. *Energy Policy*, Vol. 33, pp. 724-739.

Atakhanova, Zauresh & Peter Howie (2007). “Electricity demand in Kazakhstan”. *Energy Policy*, Vol. 35, Issue 7, pp. 3729-3743.

Baxter R & Rees R (1968). “Analysis of the industrial demand for electricity”. *Economic Journal*. Vol. 78, pp. 277-298.

Benevante, Galetovic, Sanhueza y Serra (2005). “Estimando la demanda residencial por electricidad en Chile: El consumo es sensible al precio”. *Cuadernos de Economía*, No. 42, pp. 31-61.

Berndt, Ernst & Samaniego Ricardo (1984). “Residential electricity demand in Mexico: A model distinguishing access from consumption. *Land Economics*, Vol. 60, No. 3. pp. 268-277.

Bhattacharyya, Subhes & Govinda Timilsina. (2009). “Modelling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captured”. *Energy Policy*, Vol. 38 Issue 4. pp. 1979-1990.

Bose, Ranjan & Megha Shukla (1999). “Elasticities of electricity demand in India. *Energy Policy*, Vol. 35 Issue 1. pp. 137-146.

Cameron, Colin y Pravin Trivedi (2005). “Microeconometrics: Methods and Applications”. Cambridge University Press.

Casilda, Ramón (2002). “Energía y desarrollo económico en América Latina”. *Boletín económico de ICE* No. 2752.

Dussan, Manuel (1996). “Electric Power Sector Reform in Latin American and the Caribbean”. Working Papers Series IFM-104. Disponible en: <http://www.iadb.org/publications/>.

Fernández, Laura (1999). “Análisis Microeconómico de la Demanda Eléctrica Residencial de Corto Plazo en España”. Universitat de Barcelona.

Filippini, Massimo & Shonali Pachauri (2004). “Elasticities of electricity demand in urban Indian households”. *Energy Policy*, Vol. 32, Issue 3, pp. 429-436.

Fisher F & Kaysen C (1962). *A study in econometrics: The demand for electricity in United States*. Amsterdam: North Holland Publishing Co.

Hondroyannis, George (2004). “Estimating residential demand for electricity in Greece”. *Energy Economics*, No. 26, pp.319-334.

Houthakker H. S (1951). “Some calculations of electricity consumption in Great Britain”. *Journal of the Royal Statistical Society*. Vol. 114, Part III, pp.351-371.

Houthakker H. S (1951). “Some calculations of electricity consumption in Great Britain”. *Journal of the Royal Statistical Society*. Vol. 114, Part III, pp.351-371.

Houthakker & Taylor (1971). “Consumer demand in the United States”. Cambridge: Harvard Univ. Press.

Jamasb Toorab, Mota Raffaella, Newbery David & Pollit Michael (2005). “Electricity Sector Reform in Developing Countries: A Survey of Empirical Evidence on Determinants and Performance”. World Bank Policy Research Working Paper 3549.

Kozulj, Roberto & Nicolas Di Sbroiavacca (2004). “Assessment of energy sector reforms: case-studies from Latin America”. *Energy for Sustainable Development*, Vol. VIII No. 4.

Gang, Liu (2004). “Estimating Energy Demand Elasticities for OECD Countries: A Dynamic Panel Data Approach. Statistics Norway, Research Department. Discussion papers No. 373.

Millán, Jaime (2006). “Entre el mercado y el Estado: tres décadas de reformas en el sector eléctrico de América Latina”. Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: <http://www.iadb.org/publications/>

Nagayama Hiroaki (2007). “Effects of regulatory reforms in the electricity supply industry on electricity prices in developing countries”. *Energy Policy*, Vol. 35. pp 3440-3462.

Nakajima, Tadahiro (2010). “The residential demand for electricity in Japan: An examination using empirical panel analysis techniques”. *Journal of Asian Economics*, Vol. 21, Issue 4, pp. 3729-3743.

Nakajima, Tadahiro & Shigeyuki Hamori (2010). “Change in consumer sensitivity to electricity prices in response to retail deregulation: A panel empirical analysis of the

residential demand for electricity in the United States”. *Energy policy*, Vol. 38 Issue 5. pp. 2470-2476.

Narayan, Paresh & Russell Smyth (2005). “The residential demand for electricity in Australia: an application of the bounds testing approach to cointegration”. *Energy Policy*, Vol. 33, Issue 4, pp. 467-474.

Narayan, Paresh, Russell Smyth & Arti Prasad (2007). “Electricity consumption in G7 countries: A panel cointegration analysis of residential”. *Energy Policy*, Vol. 35, Issue 9, pp. 4485-4494.

Nicholson, Walter (2005). “Microeconomic Theory: Basic Principles and Extensions”. Thomson.

Nickell, Stephen. (1981). “Bias in Dynamic Models with Fixed Effects”. *Econometrica*, vol 49, pp. 1417-1469.

Organización Latinoamericana de Energía, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas & Deutsche Montan Technologie (2005). “The Power Sector in LAC – Review, Evolution and Investment Opportunities for CFTs”. *Securing Energy Supply and Enlarging Markets through Cleaner Fossil Technology*, Contract No. NNE5-2002-96. Disponible en:

http://biblioteca.olade.org/iah/fulltext/Bjmbr/v32_2/old0005.pdf.

Organización Latinoamericana de Energía, Universidad de Calgary & Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (2004). “Competencia en mercados energéticos: una evaluación de la reestructuración de los mercados energéticos en América Latina y el Caribe”. Proyecto: Competencia en mercados energéticos. Disponible en: http://biblioteca.olade.org/iah/fulltext/Bjmbr/v32_2/old0006.pdf.

Reiss, Peter & Matthew, White (2005). “Household electricity demand, revisited”. *The Review of Economics Studies*, Vol. 72, No. 3, pp. 853- 883.

Sa’ad, Suleiman (2009). “Electricity demand for South Korean residential sector”. *Energy Policy*, Vol. 37 Issue 12. pp. 5469-5474.

Suding, Paul (1996). “Opening up and transition, success and problems: Financing and reforms of the electric power sector in Latin America and the Caribbean”. *Energy policy*, Vol. 24 No.5. pp. 437-445.

Wilson J (1971). “Residential demand for electricity”. *Quarterly Review of economics and business*, Vol. 11. pp. 7-22.

Zhang Yin-Fang, Parker David & Kirkpatrick (2007). Electricity Sector Reform in developing countries: an econometric assessment of the effects of privatization, competition and regulation. *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 33. pp. 159-178.

8. ANEXOS

8.1. Estadísticas de América Latina y el Caribe

Para analizar algunas variables de oferta y demanda se utilizó el intervalo de tiempo comprendido entre 1980 y 2002, debido a que en este periodo se establecieron las reformas en la mayoría de los países de la región. Este aparte tiene como objetivo dar a conocer el comportamiento de los precios en los sectores residencial e industrial, el consumo de electricidad, el porcentaje de cobertura total y la capacidad instalada antes y después de las reformas con el fin de observar los cambios en las tendencias de las variables analizadas propiciadas por los planes y programas implementados. Los países que se tuvieron en cuenta en el análisis fueron: Brasil, Argentina, Chile, Paraguay, Uruguay, Colombia, Bolivia, Venezuela, Ecuador, Perú, Barbados, Cuba, Jamaica, Republica Dominicana, Trinidad & Tobago, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua y Panamá.

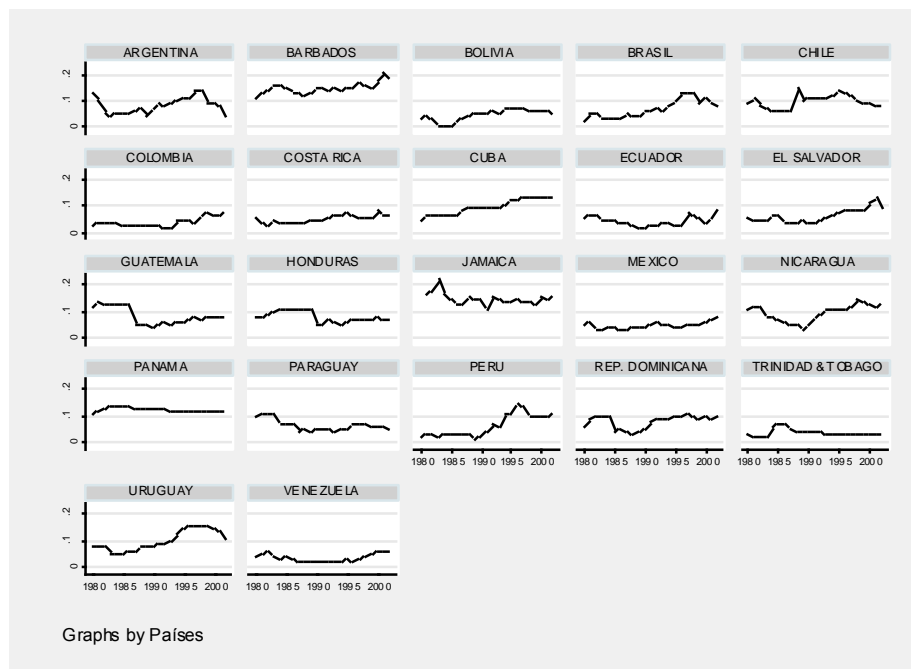
Se realizaron cálculos de crecimiento promedio anual y total para cada indicador teniendo en cuenta el año de establecimiento de Leyes o actos administrativos que implicaran cambios en la estructura del sector eléctrico en cada país²⁵.

Precios sectores residencial e industrial

Las Gráficas 8-1 y 8-2 muestran la evolución de los precios de electricidad para el sector residencial e industrial.

Gráfica 8-1 Precios electricidad sector residencial por país (US/kWh)

²⁵Argentina 1992, Brasil 1996, Chile 1982, Uruguay 1997, Bolivia 1994, Colombia 1994, Ecuador 1996, Perú 1990, Venezuela 1999, Cuba 2000, Jamaica 2001, Republica Dominicana 2001, Costa Rica 1990, El Salvador 1996, Guatemala 1995, Honduras 1994, México 1992, Nicaragua 1992, Panamá 1996, dentro de la investigación no se encontraron Normas que reformaran la estructura del sector eléctrico en Paraguay, Barbados y Trinidad & Tobago.



Fuente: SIEE – OLADE

En el Salvador, México y Colombia los precios mantuvieron una tendencia creciente antes y después de la implementación de la reforma. Sin embargo, después de la implementación de la reforma los precios presentaron un crecimiento mayor, las tasas de crecimiento promedio anual para estos países fueron 1%, 6% y 11% respectivamente.

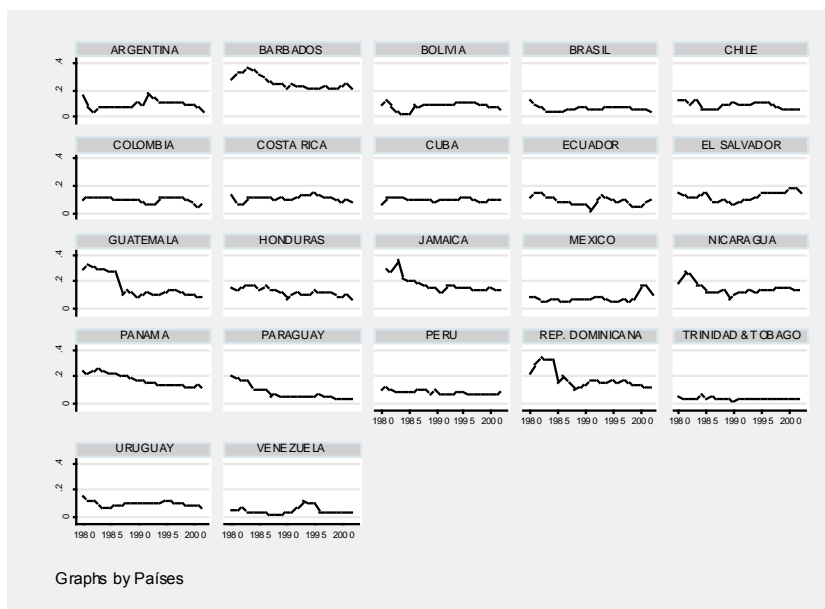
Las reformas tuvieron un efecto de alza en los precios de la electricidad en Chile, Ecuador, Perú, Guatemala, Honduras, Costa Rica y Nicaragua, pues los precios desde la reforma hasta el año 2002 se incrementaron 9% en Chile, Ecuador 35%, en Perú 196%, 12% en Guatemala, 3% en Honduras, Costa Rica 40% y Nicaragua 23%.

En Argentina, los precios decrecieron antes y después de las reformas, aunque en promedio el decrecimiento de las reformas fue mayor después de la reforma, pues pasaron de decrecer del 4% promedio anual al 10% promedio anual²⁶.

²⁶El decrecimiento en términos reales de los precios para el caso de Argentina después del proceso de reforma se debe las políticas aplicadas para contrarrestar los efectos de la crisis económica de finales de los noventa, en este caso los precios de electricidad fueron congeladas desde que se modificó la convertibilidad de la tasa de cambio de una fija a una variable, lo que ocasionó que toda la devaluación del peso argentino respecto al dólar recayera sobre las compañías de electricidad.

Finalmente, en Panamá, Brasil, Uruguay, Venezuela y Bolivia, el efecto de la reforma resultó en una disminución de los precios del sector residencial hasta el año 2002.

Gráfica 8-2 Precios electricidad sector industrial por país (US/kWh)



Fuente: SIEE – OLADE

En la Gráfica 8-2 se presenta el comportamiento en los precios del sector industrial, a diferencia del sector residencial ocurre un decrecimiento en los precios después de la implementación de la reforma en la mayoría de los países de la región, en el periodo posterior a la reforma, los precios decrecieron 46% en Chile y Uruguay, 83% en Argentina, 36% en Brasil, 54% en Bolivia, 10% en Venezuela, en Colombia 34%, en Ecuador 11%, en Perú 23%, en Honduras 41% y en Guatemala 32%.

Cobertura del servicio

En relación a la cobertura del servicio, en la Tabla 8-1 se encuentra los porcentajes de cobertura del servicio de electricidad en los países.

Tabla 8-1 Cobertura del servicio de electricidad (%)²⁷

²⁷ La información de cobertura se encuentra hasta el año 2008.

| PAÍS | COBERTURA URBANA | | COBERTURA RURAL | | COBERTURA TOTAL | |
|-------------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Pre- Reforma | Post- Reforma | Pre- Reforma | Post- Reforma | Pre- Reforma | Post- Reforma |
| Argentina | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | 95 |
| Barbados | N.D | N.D | N.D | N.D | 98 | 98 |
| Bolivia | 79 | 86 | 12 | 33 | 45 | 69 |
| Brasil | 99 | 100 | 63 | 90 | 92 | 98 |
| Chile | 95 | 99 | 34 | 94 | 84 | 99 |
| Colombia | 81 | 98 | 33 | 78 | 76 | 94 |
| Costa Rica | 100 | 100 | 75 | 90 | 88 | 99 |
| Cuba | N.D | 99 | N.D | 87 | 94 | 96 |
| Ecuador | 95 | 93 | 53 | 86 | 78 | 90 |
| El Salvador | 91 | 98 | 35 | 63 | 70 | 96 |
| Guatemala | N.D | N.D | 16 | 80 | 51 | 84 |
| Honduras | 57 | 68 | 24 | 38 | 40 | 76 |
| Jamaica | N.D | N.D | N.D | N.D | 82 | 95 |
| México | 96 | 98 | 79 | 91 | 89 | 97 |
| Nicaragua | N.D | 36 | N.D | 28 | 42 | 63 |
| Panamá | N.D | 98 | 40 | 58 | 65 | 83 |
| Paraguay | N.D | 99 | N.D | 93 | N.D | 97 |
| Perú | 91 | N.D | 12 | 35 | 50 | 78 |
| Rep. Dominicana | N.D | 99 | N.D | 89.1 | 92 | 96 |
| Trinidad & Tobago | 94 | N.D | N.D | N.D | 92 | 92 |
| Uruguay | 95 | 99 | 82 | 88 | 77 | 88 |
| Venezuela | N.D | 98 | N.D | 96 | 93 | 97 |

Nota: N.D: No Disponible

Fuente: SIEE - OLADE

Como se observa en la Tabla 8-1, todos los países mejoraron de manera satisfactoria los índices de cobertura después del proceso de reforma, muchos de los países alcanzaron una cobertura total del servicio superior al 90%. El mayor avance se encuentra en las zonas rurales, los programas implementados permitieron mejorar sustancialmente los índices de cobertura, en Brasil, Chile y Uruguay la cobertura rural aumentó 27%, 60% y 8% respectivamente.

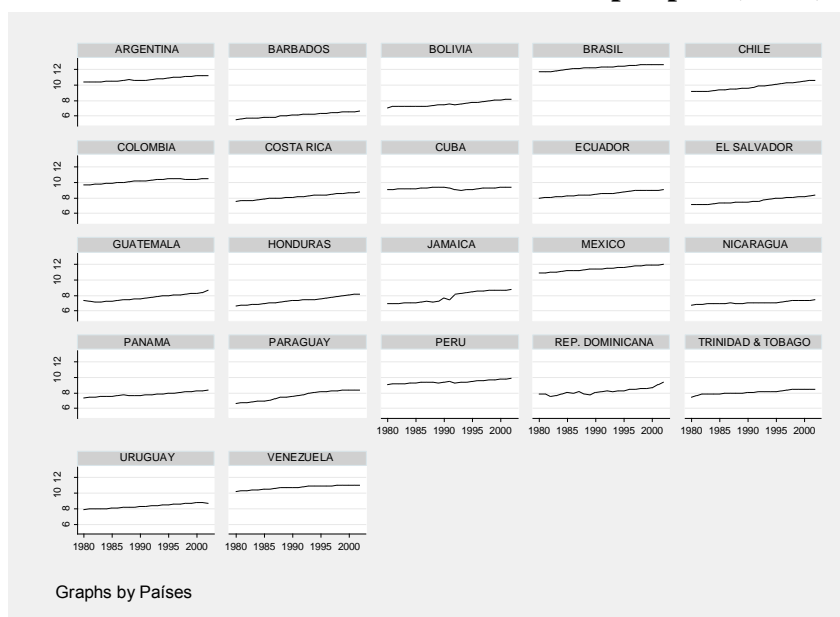
Colombia presentó avances significativos, ya que la cobertura aumentó en un 45% al pasar de 33 al 78%. De igual manera, Ecuador presentó cambios significativos al presentar un aumento de 33%, Perú y Bolivia aumentaron su cobertura 23% y 21% respectivamente. En Costa Rica la cobertura urbana es del 100% y la cobertura en zonas rurales aumentó en un 15% hasta llegar a 90%, logrando una cobertura total a final de periodo del 99%, Guatemala fue el país con más desarrollo de la cobertura rural con la implementación de la reforma pues aumentó la cobertura en estas zonas en un 64%.

En términos de cobertura total Jamaica tuvo un incremento del 13%, República Dominicana de 4% y Cuba del 2%.

Consumo total de electricidad

Las mejoras en cobertura, el aumento en la población y el crecimiento de la industria y el comercio generaron incrementos en el consumo, la Gráfica 8-3 muestra el comportamiento del consumo en los países de la región.

Gráfica 8-3 Consumo de electricidad total por país (GWh)



Fuente: SIEE – OLADE

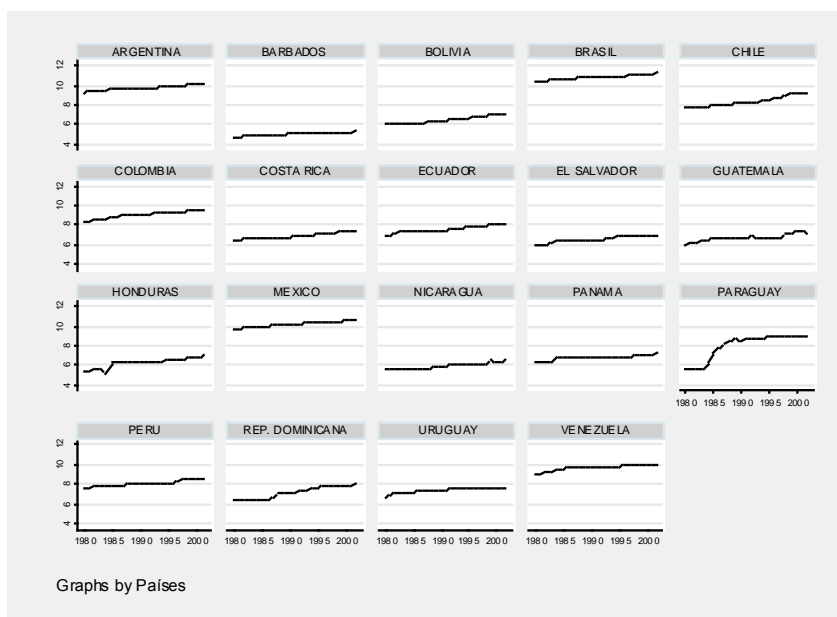
En todos los países se observa una tendencia creciente del consumo de electricidad, sin embargo, en Argentina, Chile y Guatemala este crecimiento es más significativo. El crecimiento promedio anual fue mayor después de las reformas en Argentina al pasar del 3% al 5%, en Chile del 1% a 8% y Guatemala del 4% al 11%. Por su parte, Colombia, Ecuador, Venezuela, Brasil y Uruguay presentaron un comportamiento contrario, pues la demanda pasó de crecer del 5% al 2% en Brasil, del 4% al 1% en Uruguay, del 5% al 0.4% en Colombia, del 6% al 2% en Ecuador y del 4 al 1% en Venezuela.

Durante todo el periodo, Paraguay (477%) fue el país que tuvo un mayor crecimiento de la demanda, seguido de Honduras (342%), Chile (318%), Bolivia (318%), Guatemala (243%), Costa Rica (215%), El Salvador (209%), México (210%), Ecuador (205%), Brasil (164%), Panamá (160%), Argentina (124%), Colombia (124%), Venezuela (127%), Perú (122%), Uruguay (122%) y Nicaragua (90%).

Capacidad Instalada

Para responder a la creciente demanda de electricidad fue necesario aumentar la capacidad de generación en cada uno de los países, la Gráfica 8-4 muestra la capacidad instalada en los países de este grupo.

Gráfica 8-4 Capacidad Instalada por país (GWh)



Fuente: SIEE – OLADE

Todos los países aumentaron la disponibilidad de energía eléctrica, sin embargo, en varios países el crecimiento fue en el periodo anterior a las reformas, por ejemplo, la capacidad instalada en Colombia creció 144% antes del proceso de reforma y en el periodo después creció 33%, lo mismo sucedió en Ecuador donde el crecimiento total pasó del 173% a 9.4% después de la reforma. Para República Dominicana, el mayor crecimiento fue antes

de la implementación de la reforma, donde creció 327%, después de la reforma esta tasa fue del 10%, este comportamiento se evidenció de igual manera en Salvador, México y Panamá.

Chile tuvo un crecimiento de la capacidad instalada después de la reforma del 283%, Argentina también presentó un crecimiento mayor al pasar de 53% a 56%. Las tasas de crecimiento promedio anual fueron similares antes y después de las reformas, Brasil pasó de 4.1% a 5% y Argentina pasó del 3% al 4%. Uruguay creció en el primer periodo a una tasa promedio anual del 6%, pero con la implementación de la reforma su capacidad decreció 0.1% anual.

Barbados creció en todo el periodo 120%, con una tasa de crecimiento de la capacidad instalada promedio anual del 3%.

8.2. Estructura de los sistemas eléctricos en América Latina y el Caribe

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) agrupó los países de la región conforme a la estructura del sector en el estudio *Competencia en los mercados energéticos: una evaluación de la reestructuración de los mercados energéticos en América Latina y el Caribe* de OLADE, ACDI & UC (2004), en donde se encuentran las opciones de propiedad (Propiedad estatal exclusiva, Propiedad mixta y propiedad privada) y las opciones de funcionamiento (Control central, comprador único, integrada autónoma y mercado abierto).

Tabla 8-2 Resumen estructura de los sistemas eléctricos

| | | | | | | |
|----------------------------|------------------------------------|---|---|---|------------------------|---|
| OPCIONES DE PROPIEDAD | (c) Propiedad Privada | Segmentación Vertical con Incompatibilidad de Funciones | | | | Argentina (***) Bolivia(**) Guatemala(**) Panamá(**) |
| | | Integración Vertical Permitida | | | Barbados | Chile(**) El Salvador(**) Perú(**) R. Dominicana |
| | (b) Propiedad Mixta | | Cuba Ecuador Jamaica México Trinidad & Tobago Honduras | Costa Rica Grenada Guyana Uruguay Venezuela | | (*) Colombia(**) Brasil Nicaragua |
| | (a) Propiedad Estatal exclusiva | | Suriname | Haití Paraguay | | |
| | | | (d) Control Central | (e) Comprador Único | (f) Integrada Autónoma | (g) Mercado Abierto |
| OPCIONES DE FUNCIONAMIENTO | | | | | | |

(*) Con o sin desintegración vertical estricta (incompatibilidad de funciones);

(**) Con partición horizontal débil;

(***) Con partición horizontal fuerte

Fuente: OLADE (2004)

De acuerdo con la tabla, en las opciones de propiedad, la mayoría de los países de la región se encuentran ubicados en *propiedad mixta*, donde existen inversionistas privados, empresas del Estado y empresas del Estado con accionistas privados.

La otra gran parte de países, está conformada por aquellos países donde el sector eléctrico es atendido por inversionistas privados en su totalidad.

Respecto a las cuatro modalidades de funcionamiento, la opción de *comprador único* se refiere a la incorporación de agentes privados en el sector con una apertura limitada del mercado, en esta se incluyen la existencia de empresas nacionales y regionales integradas

con alguna orientación comercial, por ejemplo, la separación de generación, transmisión, y distribución en términos de operaciones y contabilidad, y se establece el rol político y regulatorio del Estado.

Las empresas ubicadas en la opción *integrada autónoma*, tanto los agentes privados como el Estado tienen diferenciadas sus funciones, los primeros desarrollan la actividad conforme a sus criterios propios (planeación y ejecución), mientras que el Estado se encarga de las decisiones en inversión y la regulación de los mercados, aquí no existe competencia entre todas las empresas, pues en varios casos hay exclusividad en una área de suministro.

La opción *mercado abierto* está conformado por la mayoría de los países, en esta opción se introdujo la competencia en los segmentos donde era posible (generación y comercialización) y se mantuvo la regulación en el transporte y distribución de electricidad por su condición de monopolio natural. Introducir la competencia incluyó acciones como la desintegración vertical de las actividades (al menos en generación transmisión y distribución), separación regional de las compañías de distribución, libre acceso a las redes de transmisión y participación de la empresa privada en todos los niveles de la cadena. Lo anterior, presentó diferencias entre los países, por ejemplo en Chile no presentó desintegración vertical completa debido a que era de difícil aplicación, pues se requiere la reorganización de la estructura y la creación de un nuevo marco legal, institucional y administrativo. Para implementar esta opción algunos países han tenido primero que desintegrar las empresas del Estado para venderlas luego a los inversionistas privados.

8.3. Análisis de la demanda de electricidad para el periodo 1980-2002

Como un ejercicio complementario se estimó la demanda de electricidad para el periodo 1980-2002 de los sectores residencial e industrial, de acuerdo con la siguiente especificación:

$$\log Q_{it} = \alpha_i + \mu_t + \beta_1 \log P_{Q_{it}} + \beta_2 \log P_{X_{it}} + \beta_3 \log Y_{it} + \beta_4 \log Z_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde i corresponde al país y t al tiempo, Q_{it} corresponde al consumo de electricidad en kWh para el sector residencial e industrial, α_i factor idiosincrático que no varía en el tiempo, μ_t tiene en cuenta la existencia de efectos comunes en el tiempo para todos los países, $P_{Q_{it}}$ es precio promedio de electricidad (\$US/kWh), $P_{X_{it}}$ es el precio promedio de los bienes sustitutos (\$US/kWh), Y_{it} es el ingreso per cápita real, Z_{it} es un vector de características de los países que ayudan a explicar el comportamiento de la demanda por energía eléctrica y ε_{it} es el término de error que se distribuye normal con media cero y matriz de varianza escalar,.

Los resultados para el sector residencial se muestran a continuación:

Sector Residencial

La Tabla 8-3 muestra los resultados de la estimación para el modelo agrupado, el modelo con efectos aleatorios y el modelo con efectos fijos. De acuerdo con la prueba de Hausman, el estimador de efectos fijos resultó ser más consistente. Se presentan los resultados de seis modelos, los tres primeros modelos representan una función de demanda básica en la que solo se considera como variable explicativa el precio del bien, la población y PIB per cápita.

Los modelos (4), (5) y (6) consideran el precio del energético alternativo, en este caso el precio del gas licuado de petróleo expresado de forma diferente en cada modelo, en el modelo (4) se incluye el precio del gas licuado de petróleo, en el modelo (5) se considera la diferencia del precio del gas licuado de petróleo como instrumento para evitar posibles problemas de endogeneidad en la estimación y en el modelo (6) se incluye el precio relativo de la electricidad respecto al gas licuado de petróleo reduciendo el número de variables explicativas.

Tabla 8-3 Resultados sector residencial modelo efectos fijos

| Variable | Modelo (1) <i>pool</i> | Modelo (2) <i>random effects</i> | Modelo (3) <i>fixed effects</i> | Modelo (4) <i>fixed effects</i> | Modelo (5) <i>fixed effects</i> | Modelo (6) <i>fixed effects</i> |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Log precio energía eléctrica | -0.8018*** (0.106) | -0.0147 (0.020) | -0.0079 (0.019) | 0.0104 (0.022) | -0.0040 (0.019) | |
| Log PIB per cápita | 0.4165*** (0.090) | 0.3818*** (0.071) | 0.3316*** (0.068) | 0.3495*** (0.068) | 0.3723*** (0.069) | 0.3443*** (0.068) |
| Log precio glp | | | | -0.0315 (0.020) | | |
| Log población | 0.4163*** (0.043) | 2.0163*** (0.063) | 2.1553*** (0.061) | 2.1395*** (0.062) | 2.1111*** (0.067) | 2.1497*** (0.061) |
| Dif. Log precio glp | | | | | 0.0236 (0.025) | |
| Log precio relativo glp | | | | | | 0.0236 (0.018) |
| Constant | -3.7612*** (0.949) | -27.3243*** (1.000) | -29.1557*** (0.919) | -29.1128*** (0.933) | -28.7582*** (0.977) | -29.1820*** (0.931) |
| Observations | 437 | 437 | 437 | 432 | 413 | 432 |
| R-squared | 0.326 | | 0.798 | 0.795 | 0.786 | 0.795 |
| Number of país | | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Cálculos autor

Debido a los problemas potenciales que se pueden presentar por la existencia de correlación entre paneles, se realizó una estimación con mínimos cuadrados generalizados, cuyos resultados se presentan en la Tabla 8-4. Los modelos se diferencian en la forma en que se encuentra expresado el precio del energético sustituto.

Tabla 8-4 Resultados sector residencial modelo mínimos cuadrados generalizados

| Variable | Modelo (1) | Modelo (2) | Modelo (3) |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | <i>FGLS</i> | <i>FGLS</i> | <i>FGLS</i> |
| Log precio energía eléctrica | -0.7505*** (0.011) | -0.6703*** (0.011) | |
| Log PIB per cápita | 0.2484*** (0.007) | 0.2540*** (0.008) | 0.0015 (0.006) |
| Log precio glp | 0.0842*** (0.009) | | |
| Log población | 0.4735*** (0.002) | 0.4734*** (0.003) | 0.5584*** (0.002) |
| Dif. Log precio glp | | 0.2942*** (0.015) | |
| Log precio relativo glp | | | -0.3026*** (0.007) |
| Constant | -3.0433*** (0.067) | -3.1563*** (0.053) | -0.8061*** (0.052) |
| Observations | 391 | 374 | 391 |
| Number of país | 17 | 17 | 17 |

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Cálculos autor

Los resultados de las estimaciones con mínimos cuadrados generalizados fueron los más significativos, se puede observar que los coeficientes presentan los signos esperados y las variables son significativas estadísticamente al 1%. De acuerdo con los resultados de los modelos (1) y (2), la elasticidad precio del consumo tiene signo negativo, lo cual implica que un aumento en 1% en la tarifa de electricidad hace que el consumo de electricidad disminuya entre un 0.67% y 0.75%.

Las elasticidades estimadas del consumo de electricidad respecto al precio del gas licuado de petróleo son positivas, indicando que son bienes sustitutos, esto implica que aumentos en el precio del gas licuado genera un incremento en la cantidad demandada de electricidad. En el modelo (3), se puede apreciar que el coeficiente del precio relativo de la electricidad respecto al gas licuado de petróleo es significativo y presenta una relación negativa con la cantidad demandada de electricidad, un incremento de 1% en el precio relativo disminuye la cantidad demandada en 0.30%.

La elasticidad respecto al PIB per cápita es significativa y positiva, como se esperaba, la energía eléctrica es un bien normal, pues un aumento en el ingreso ocasiona incrementos

en el consumo. Igualmente, se observa que la elasticidad ingreso se encuentra entre cero y uno, lo que implica que la energía eléctrica es un bien necesario, cuando hay aumentos en el ingreso, el consumo aumenta pero en menor proporción al incremento en el ingreso.

Sector Industrial

Al igual que para el sector residencial, se estimaron tres tipos de modelos, con el fin de escoger el que más se ajusta a los datos del sector industrial, se estimó un modelo agrupado o *pool*, un modelo de efectos fijos y un modelo de efectos aleatorios, de acuerdo con la prueba de Hausman, el estimador de efectos aleatorios es más consistente para las estimaciones del sector industrial.

La estructura de los resultados es la misma que para el sector residencial, La Tabla 8-5 presenta los resultados de seis modelos, en donde los tres primeros representan una función de demanda básica que considera como determinantes de la demanda por electricidad industrial el precio del bien, la población y PIB per cápita.

Los modelos (4), (5) y (6) consideran en la función de demanda el precio del *fuel oil* como energético sustituto, la diferencia en los modelos estimados radica en la representación del precio del *fuel oil*. En el modelo (4) se incluye el precio del *fuel oil*, en el modelo (5) se considera la diferencia del precio del *fuel oil* como instrumento para evitar posibles problemas de endogeneidad en la estimación y en el modelo (6) se incluye el precio relativo de la electricidad respecto al *fuel oil* reduciendo el número de variables explicativas.

Tabla 8-5 Resultados sector industrial modelo efectos aleatorios

| Variable | Modelo (1) <i>pool</i> | Modelo (2) <i>random effects</i> | Modelo (3) <i>fixed effects</i> | Modelo (4) <i>random effects</i> | Modelo (5) <i>random effects</i> | Modelo (6) <i>random effects</i> |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Log precio energía eléctrica | -1.8201*** (0.124) | -0.0799*** (0.030) | -0.0668** (0.029) | -0.0761** (0.032) | -0.0817*** (0.031) | |
| Log PIB per cápita | 0.2630*** (0.096) | 0.9508*** (0.089) | 0.9471*** (0.089) | 0.9537*** (0.091) | 0.9826*** (0.093) | 0.9709*** (0.090) |
| Log precio fuel oil | | | | -0.0079 (0.033) | | |
| Log población | 0.5296*** (0.048) | 1.3007*** (0.079) | 1.3968*** (0.082) | 1.3139*** (0.079) | 1.2937*** (0.085) | 1.4008*** (0.078) |
| Dif. Log precio fuel oil | | | | | 0.0820* (0.045) | |
| Log precio relativo fuel oil | | | | | | -0.0366 (0.025) |
| Constant | -6.8459*** (1.007) | -20.3603*** (1.226) | -21.8401*** (1.226) | -20.6140*** (1.249) | -20.4895*** (1.298) | -21.8678*** (1.261) |
| Observations | 437 | 437 | 437 | 434 | 415 | 434 |
| R-squared | 0.529 | | 0.618 | | | |
| Number of país | | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Cálculos autor

La Tabla 8-6 se muestra los resultados de la estimación con mínimos cuadrados generalizados. Al igual que en los modelos anteriores, la diferencia entre estos modelos se encuentra en la representación del precio del *fuel oil*.

Tabla 8-6 Resultados sector industrial con mínimos cuadrados generalizados

| Variable | Modelo (1) | Modelo (2) | Modelo (3) |
|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | <i>FGLS</i> | <i>FGLS</i> | <i>FGLS</i> |
| Log precio energía eléctrica | -1.0859*** (0.021) | -1.3172*** (0.023) | |
| Log PIB per cápita | 0.4807*** (0.012) | 0.5258*** (0.007) | 0.5394*** (0.001) |
| Log precio fuel oil | -0.4353*** (0.016) | | |
| Log población | 0.8091*** (0.006) | 0.8207*** (0.005) | 1.0263*** (0.001) |
| Dif. Log precio glp fuel oil | | 0.0699** (0.031) | |
| Log precio relativo fuel oil | | | -0.0618*** (0.002) |
| Constant | -12.8141*** (0.121) | -12.1790*** (0.086) | -12.3310*** (0.029) |
| Observations | 414 | 396 | 414 |
| Number of país | 18 | 18 | 18 |

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Cálculos autor

Teniendo en cuenta los modelos (1) y (2) un incremento del 1% en los precios de la electricidad disminuye el consumo entre un 1.08% y 1.31% respectivamente. Igualmente, en el modelo (3) un incremento del 1% en el precio relativo disminuye la cantidad demandada en 0.06%.

8.4. Resultados estudios empíricos demanda de electricidad

En la Tabla 8-7 se encuentran los resultados obtenidos en la literatura económica empírica de la estimación de las elasticidades precio, ingreso y cruzada para el consumo de electricidad.

Tabla 8-7 Resultados empíricos estudios demanda de electricidad

| FUENTE | PAÍS | PERÍODO | ELASTICIDAD PRECIO | | ELASTICIDAD INGRESO | | ELASTICIDAD CRUZADA | |
|---|----------------|-----------|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| | | | Corto Plazo | Largo plazo | Corto Plazo | Largo plazo | Corto Plazo | Largo plazo |
| Houthakker (1951) | Reino Unido | 1937-1938 | -0.89 | | 1.16 | | 0.21 | |
| Fisher & Kaysen (1962) | Estados Unidos | 1946-1957 | Residencial: -0.15 | Residencial: 0 Industrial: -1.25 | Residencial: 0.10 | | | |
| Fernández (1999) | España | 1999 | -0.6 | | 0.14 | | | |
| Bose & Shukla (1999) | India | 1985-1994 | Residencial: -0.65 Industrial: -0.45 | | Residencial: 0.88 Industrial: 1.06 | | | 1.50 |
| Kamerschen & Porter (2004) | Estados Unidos | 1973-1998 | Residencial: -0.85 Industrial: N.S | | Residencial: 0.65 Industrial: N.S | | Residencial: 0.34 Industrial: N.S | |
| Gang (2004) | OECD | 1978-1999 | Residencial: -0.03 Industrial: -0.01 | Residencial: -0.15 Industrial: -0.04 | Residencial: 0.05 Industrial: 0.3 | Residencial: 0.3 Industrial: 1.03 | | |
| Benavente, Galetovic, Sanhueza & Serra (2005) | Chile | 1995-2001 | -0.0548 | -0.39 | 0.07 | 1.8 | 0.02 | 0.17 |
| Atakhanova & Howie (2007) | Kazakhstan | 1994-2003 | Residencial: -0.22 Industrial: 0 | Residencial: -1.1 | Residencial: 0.65 Industrial: 0.12 | Residencial: 0.68 Industrial: 0.79 | | |
| Narayan, Smyth & Prasad (2007) | G7 | 1978-2003 | Modelo 1: -0.10 Modelo 2: N.S | Modelo 1: -1.5 Modelo 2: -7.4 | Modelo 1: N.S Modelo 2: N.S | Modelo 1: 0.24 Modelo 2: 0.37 | Modelo 1: N.S | Modelo 1: 2.9 |
| Nakajima & Hamori (2009) | Estados Unidos | 1993-2008 | -0.33 | -0.14 | 0.38 | 0.85 | | |
| Agostini, Plottier & Saavedra (2009) | Chile | 2006 | -0.38 | | 0.11 | | 0.14 | |

Nota: N.S: No significativo

Fuente: Elaboración autor