



**Universidad de San Andrés**

**Departamento de Economía**

**Maestría en Economía**

***SIEPAC: ¿Convergencia de precios en América  
Central?***

**Agustín CARBO**

**38464381**

**Mentor: Walter CONT**

**Martínez**

**9 de diciembre,**

**2021**

*Tesis de Maestría en Economía de*

**Agustín CARBO**

**“SIEPAC: ¿Convergencia de precios en América Central?”**

Resumen

*Este trabajo tiene como objetivo principal el análisis de la convergencia entre los precios de transacciones spot en el mercado eléctrico regional conformado por los países interconectados por el SIEPAC: Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. La experiencia de integración del mercado eléctrico en América Central genera la posibilidad y la motivación de estudiar la transición y el comportamiento de los precios en los distintos nodos de interconexión. Hasta el momento, el resultado de convergencia global no es robusto, pero siguiendo la metodología desarrollada por Phillips y Sul (2007), se encuentra que existe convergencia al dividir a los países en dos grandes grupos (clubes): exportadores e importadores netos. Finalmente, encontramos evidencia que explica y caracteriza la agrupación de los países generada por el algoritmo numérico aplicado.*

Palabras clave: Convergencia, SIEPAC, mercado eléctrico, integración, comercio.

Códigos JEL: Q410, Q480, O540.

## 1. Introducción

Existe una vasta literatura que estudia la convergencia como un fenómeno particular dentro de la disciplina económica. En sus orígenes, la hipótesis de la convergencia hacía referencia a la igualdad entre todas las economías del mundo en términos de producto per-cápita. Predicción que deriva del modelo de crecimiento de Solow (1956). Luego, trabajos como el de Romer (1986) y Lucas (1988) retoman y discuten la idea de Solow, planteando la ausencia de convergencia entre países ricos y países pobres. Estas controversias despertaron, dentro de la literatura de crecimiento, diferentes definiciones y metodologías sobre la convergencia y como medirla.

Desde aquel trabajo de Solow (1956) hasta la actualidad, la hipótesis de convergencia ha trascendido a la literatura de crecimiento y se ha aplicado en otros temas. Por ejemplo, la convergencia en el costo de vida (Phillips y Sul, 2007), las emisiones de dióxido de carbono (Panopoulou y Pantelidis, 2009) y los precios de inmuebles (Montañes y Olmos, 2013). Particularmente, el trabajo de King y Cuc (1996) es uno de los pioneros en el estudio de la convergencia de precios en el sector energético.

Dentro de toda la literatura de convergencia, abundan los contrapuntos y escasean los consensos. Sin embargo, uno de ellos es que tanto el comercio como la cercanía y la integración comercial suelen tener impacto sobre la convergencia en producto per-cápita y disminuir las desviaciones de precios.

El estudio de la convergencia de precios de la electricidad está motivado por su relación con la integración comercial y los potenciales múltiples impactos positivos sobre el bienestar de la sociedad. Entre ellos, la disminución y reducción en las desviaciones de precios, la posibilidad de lograr economías de escala, el aprovechamiento de las ventajas comparativas, la eficiencia energética y la reducción en el impacto sobre el medio ambiente. Todo esto impacta positivamente en las empresas y los consumidores.

Este trabajo se centra en el estudio de la convergencia de los precios spot en el mercado eléctrico regional conformado por Guatemala, El Salvador, Honduras, Costa Rica, Nicaragua y Panamá. La energía eléctrica se destaca por ser un bien no almacenable que debe transportarse por redes de transmisión lo que deriva en la necesidad de que, los sistemas de dos países que quieren comerciar, se encuentren interconectados.

El SIEPAC, un proceso de integración en América Latina que consiste en una red de transmisión de 300 MW que va desde Guatemala hasta Panamá. El SIEPAC interconecta los 6 países y permite el comercio desde la entrada en funcionamiento del Mercado eléctrico regional (MER) en 2014. El SIEPAC consiste en la experiencia más importante de integración regional en América Latina. En América del Sur la situación refleja un menor nivel de integración e interconexión dado que no existe un mercado común supranacional y todas las interconexiones existentes son bilaterales. De todas maneras, la comparación con las experiencias de integración del mercado eléctrico europeo deja en evidencia que aún para el SIEPAC queda camino por recorrer. La armonización y adaptación de las regulaciones nacionales, la planificación, a nivel regional, de la expansión en la generación y la transmisión son algunos ejemplos.

La relación entre la convergencia de precios y la integración en el mercado eléctrico no es obvia. La hipótesis es que la convergencia de precios sea una consecuencia observacional de la integración. Es decir, que el comercio entre los países permita el aprovechamiento de las ventajas comparativas en la producción del bien hasta igualar los costos y por ende los precios. Como lo establece la ley de único precio, dado que la electricidad es un commodity (no existe

diferenciación de producto) y que una vez construida la interconexión los costos de transporte son prácticamente nulos, en la presencia de mercados competitivos, comercio y arbitraje los precios entre países se debieran igualar.

De todas maneras, en el mercado eléctrico esto no siempre se cumple debido a diversos motivos. En primer lugar, la estacionalidad y variabilidad de la demanda y oferta de electricidad. En segundo lugar, las restricciones políticas y los límites de capacidad de las interconexiones. Por último, el concepto de seguridad energética nacional que limita la exposición y dependencia de abastecimiento entre países.

En los últimos años las experiencias de integración y desregulación del mercado energético con posterior estudio de convergencia en precios han despertado el interés y el estudio del mundo académico. Sus orígenes se remontan al trabajo de King y Cuc (1996) en el que los autores encuentran un fuerte incremento en la convergencia de los precios entre los productores de gas a partir de unificación de las líneas de transporte. Sin embargo, concluyen con la inexistencia de un único precio para el mercado de gas en Estados Unidos. Zachmann (2008) muestra que el 59% de los precios analizados convergieron en el periodo 2002-2006. Entre los países analizados muestra que Alemania parece ser el mercado nacional más integrado que además muestra un alto grado de correlación con los precios del mercado eléctrico de Francia. Bunn y Gianfreda (2010) analizan y encuentran, entre julio de 2001 y julio de 2005, un aumento en la tendencia de integración entre los mercados de Francia, Alemania, Gran Bretaña, Países Bajos y España. Balanguer (2011) analiza los precios de mercado entre 2003 y 2009 encontrando convergencia entre los mercados de potencia de Dinamarca y Suecia y divergencia entre Francia, Alemania e Italia. Otros estudios han considerado los efectos generados por la inclusión de energías renovables en la integración de los mercados. Por ejemplo, Gianfreda et al. (2016) y de Menezes et al. (2016) encuentran que la penetración de las fuentes renovables y las políticas impulsando las energías limpias han afectado el grado de integración y la convergencia de precios en el mercado europeo. Finalmente, en línea con el presente trabajo Kalantzis y Milonas (2010) estudian los precios spot de los mercados de Europa central y occidental entre 2006 y 2009. Los resultados muestran convergencia en los precios spot de electricidad lo que sugiere integración de los mercados. También, Apergis, Fontini y Inchauspe (2016) analizan la convergencia de precios en los mercados regionales de electricidad en Australia luego de la creación de una red que interconecta los 5 mercados regionales existentes.

Explicar todos los beneficios que se derivan de una integración comercial excede los límites del presente trabajo, de todas maneras, entre ellos se encuentra la creación de economías de escala en la producción que puede derivar en una reducción y convergencia de costos. Particularmente, los procesos de integración eléctrica suelen tener como objetivo generar un impacto positivo sobre los consumidores, las empresas y el medioambiente. Este trabajo analiza la convergencia de precios en el mercado eléctrico de los países de América Central Ístmica (excepto Belice) haciendo dos importantes contribuciones a la literatura. En primer lugar, es el primer trabajo que analiza la convergencia de precios de los países que pertenecen al SIEPAC. Y, además, identifica grupos de países según su rol en el mercado (exportadores e importadores) que convergen a diferentes equilibrios sin partir de ningún supuesto inicial.

El documento se estructura de la siguiente manera. En la segunda sección se describe la experiencia de integración analizada, esbozando algunas cuestiones regulatorias y planteando desafíos. En la tercera sección se presenta la metodología utilizada para el análisis de la convergencia, desarrollada por Phillips y Sul (2007). Luego, en las siguientes secciones se presentan tanto los datos como los resultados obtenidos respectivamente. Finalmente, breves

conclusiones sobre la experiencia de integración, la convergencia de precios y los flujos de comercio de electricidad en la región.

## **2. Creación del mercado regional: regulación y desafíos**

El proceso de integración en América Central es un proceso que evidencia la complejidad que implica la creación de un mercado regional y cada una de las etapas previas. Con el objetivo de optimizar las reservas energéticas y aprovechar la diversidad hidrológica, las interconexiones comenzaron a realizarse en 1975 de forma bilateral<sup>1</sup>. En 1986 ya se habían conectado 5 países, quedando pendiente una conexión con El Salvador. Luego de una pausa, y con la constitución del Sistema de Integración Centroamericana (SICA) en 1991, la integración regional volvió a ganar interés, pero en esta ocasión persiguiendo intereses más amplios (económicos, sociales, culturales, ecológicos y políticos). Ya en 1996 el proceso de integración regional tomó impulso con la suscripción del Tratado Marco del Mercado Eléctrico de América Central creado dentro del marco del SICA. El convenio, y sus dos protocolos, crearon los organismos regionales de operación y regulación del Mercado eléctrico Regional (MER): el Ente Operador Regional (EOR), el regulador regional denominado Comisión Regional de Interconexión Eléctrica (CRIE) y el Consejo Director del MER (CDMER) a cargo de la política de integración energética. La Empresa Propietaria de la Red (EPR), propiedad de los países miembros y otros socios, desarrolló el primer sistema de interconexión regional (Proyecto SIEPAC) que conecta a los sistemas nacionales con una capacidad de transmisión de 300 MW.

La integración regional se logró con la creación del Mercado Eléctrico Regional (MER) y la construcción del Proyecto SIEPAC. La línea SIEPAC se fue construyendo de a tramos entre países y está funcionando como un único sistema paralelo a los sistemas nacionales a partir de 2014. El MER comenzó a operar en 2002 con carácter transitorio, hasta que entró en efecto el Reglamento del MER (RMER) en 2013. Este mercado funciona en paralelo con los seis sistemas nacionales, donde coexisten monopolios integrados verticalmente (Costa Rica y Honduras) con ingreso limitado de generación privada, y sistemas de mercado (El Salvador, Guatemala, Panamá y Nicaragua). No obstante, las transacciones regionales de energía en el MER se rigen por reglas propias para la operación y administración del sistema.

Como muestra el Gráfico 1, el proceso de integración de mayor alcance en América Latina conecta a 6 países de América Central (Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá), buscando optimizar las reservas energéticas y aprovechar la diversidad hidrológica.

---

<sup>1</sup> El Comité de Cooperación Económica del Istmo Centroamericano (CCE), creado bajo el auspicio de la CEPAL, dio lugar en 1958 al Subcomité Centroamericano de Electrificación y Recursos Hidráulicos. Este subcomité creó el Grupo Regional de Interconexión Eléctrica (GRIE), con el objeto de promover la integración eléctrica en Centroamérica. La primera reunión del GRIE tuvo lugar en 1968 y en ella se sentaron las bases para estudiar la posible interconexión regional (Castillo, 2013).

Gráfico 1 – Mapa SIEPAC



Nota: 1 SIEPAC, 230 kV, 300 MW. 2 Guatemala-México, Brillantes-Tapachula, 400/230 kV, 200 MW. 3 Colombia-Panamá, Cerromatoso-S. E. Panamá II, 300 kV 400 MW (en estudio).

Fuente: Extraído de CIER (2020).

En este contexto los países han adoptado medidas de armonización entre su regulación nacional y la supranacional. En el MER se realizan transacciones de electricidad bajo la modalidad spot o de oportunidad (con un sistema de precios nodales, que reflejan los costos de oportunidad de corto plazo para una inyección o retiro, incluyendo pérdidas y congestión) o de contratos entre agentes del mercado. También se prestan servicios auxiliares y de operación del sistema y administración del MER, y servicios de transmisión regional.

A medida que se fueron profundizando los desarrollos del MER, surgieron diversas preocupaciones sobre la viabilidad del mercado de contratos de largo plazo que podrían generarse dentro de este esquema frente a la priorización del mercado doméstico y sobre la resiliencia del MER a eventos externos. Por ejemplo, durante el período del incremento en el precio del petróleo (iniciado en 2004), Honduras y El Salvador (importadores netos) redujeron sus intercambios y controlaron precios en sus mercados domésticos. Más recientemente, el desafío se presenta con el desarrollo del mercado de contratos de largo plazo. Al respecto, más allá de que el RMER otorga prioridad de suministro a contratos firmes, las regulaciones nacionales han priorizado situaciones de escasez nacional y solo se han podido ejecutar contratos de duración que no exceden el año.

Otra preocupación en el marco del MER es la utilización efectiva de la capacidad, y sus implicancias respecto de la planificación de la expansión del sistema de transmisión regional. Si bien existe una capacidad nominal de 300 MW, por distintas razones algunos países la utilizan por debajo de su potencial (ver, por ejemplo, las limitaciones impuestas por el operador del sistema de Panamá -entre 50 y 15 MW- para evitar el disparo de la Central Hidroeléctrica Fortuna en contingencias simples, explicadas por EOR, 2021). Por su parte, el EOR (con supervisión del CRIE) se encarga de planificar la expansión de la red y de coordinar con los sistemas nacionales por los refuerzos nacionales necesarios, pero esta coordinación con los países ha sido limitada.

El tercer desafío se presenta en la expansión de la capacidad de generación. El MER prevé el desarrollo de generación con escala regional, pero hasta el momento solamente se ha

planificado la expansión a nivel nacional. Estos temas son objeto de análisis en la agenda del Tercer Protocolo al Tratado (ver detalles Echevarría et al., 2017).

### **3. Metodología para el análisis de convergencia.**

Los análisis y las modelaciones de las transiciones o convergencia de variables económicas relevantes tienen como piedra fundacional toda la literatura de crecimiento económico. Desde sus inicios con los trabajos de Solow (1956), Kaldor (1957), Romer (1986) hasta la metodología más recientemente desarrollada por Phillips y Sul (2007). Su aplicación al mercado energético puede ser encontrada en Growitsch, Stronzik y Nepal (2013) quienes estudian la eficiencia y convergencia del mercado de gas natural en Alemania. También, King y Cuc (1996) estudian la convergencia del mercado Spot de gas en Estados Unidos y, finalmente, Apergis, Fontini e Inchauspe (2016) estudian la convergencia de precios del sector eléctrico en Australia.

Específicamente, en el desarrollo de la literatura, se han creado diferentes metodologías para analizar la convergencia. A continuación, se presenta un breve resumen de cada una:

1. Convergencia beta: concepto introducido por Baumol (1986) que hace referencia a una relación negativa entre la tasa de crecimiento y el nivel de la variable de interés. La convergencia ocurre cuando los países con alto nivel tienen una tasa de crecimiento más baja que los países con bajo nivel inicial. Algunas de las limitaciones que la literatura destaca de esta metodología son la incapacidad de distinguir tasas de convergencia diferentes y, por ejemplo, Quah (1993) muestra que es un enfoque que puede indicar convergencia cuando no la hay.
2. Convergencia sigma: enfoque desarrollado por Barro y Sala-i-Martin (1990). Es un enfoque superior del anterior ya que la convergencia beta es una condición necesaria de la convergencia sigma. La convergencia ocurre cuando, entre los países, hay una reducción, a lo largo del tiempo, en la variación del logaritmo natural de la variable de interés. Para medir la variación se suele utilizar el desvío estándar.
3. Convergencia estocástica: enfoque que examina la persistencia de los shocks en las variables de interés. La convergencia estocástica supone que los shocks en el logaritmo del nivel de la variable de interés en relación al promedio de la muestra son temporales. En otras palabras, se analiza la existencia de una tendencia estacionaria en el logaritmo de la diferencia de un país en relación a la media muestral.

El presente trabajo utiliza el modelo desarrollado por Phillips y Sul (2007), metodología enmarcada dentro del concepto de convergencia sigma y que presenta numerosas ventajas, además de las ya señaladas, con respecto al resto de las existentes. En primer lugar, evalúa el concepto de convergencia relativa. Además, es un enfoque superior a los de convergencia estocástica porque permite la posibilidad de convergencia aún en presencia de shocks no transitorios. Mas aún, es un test en el que sus resultados no dependen de supuestos previos sobre la permanencia o temporalidad de los shocks. Adicionalmente, incorpora la posibilidad de heterogeneidades transicionales o hasta divergencia transicional. Finalmente permite la posibilidad de agrupar a los países en subgrupos a partir de un algoritmo numérico, con el objetivo de evaluar la convergencia por clubes.

Phillips y Sul (2007) desarrollan un test semi-paramétrico para evaluar la convergencia en una estructura de panel y un algoritmo para la conformación de clubes. Bajo la hipótesis de convergencia, la diferencia entre los precios de los países, debe tender a cero cuando  $t$  tiende a infinito. Adicionalmente, que la diferencia entre los países sea decreciente en el tiempo, no alcanza como condición suficiente para garantizar la convergencia global. Los autores plantean la posibilidad de convergencia por subgrupos y divergencia en términos generales. Para poder diferenciar ambos escenarios los autores desarrollan un test basado en una regresión de series de tiempo simple, en la que se introduce un parámetro ( $\alpha$ ) dentro de la hipótesis de convergencia. Esta metodología no solo permite el análisis de convergencia general, sino que, además, ante el escenario de divergencia, existe la posibilidad de analizar la convergencia en clubes (subgrupos de países). Además, como hacen Phillips y Sul (2009), se puede estudiar la transición en diferentes momentos, analizando la convergencia en distintos subperiodos de tiempo.

Específicamente, la metodología parte de la siguiente ecuación en donde  $Y_{it}$  representa las 6 series de tiempo, en la que se estudia la presencia de un componente común  $\mu_t$ :

$$Y_{it} = \lambda_{it}\mu_t \quad (1)$$

En donde  $\lambda_{it}$  es el componente idiosincrático que varía en el tiempo y captura la desviación con respecto a  $\mu_t$ . Dentro de este marco, la convergencia significaría:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \lambda_{it+k} = \lambda, \quad \forall i \quad (2)$$

Dado que la ecuación 1 no puede ser estimada de forma directa, Phillips y Sul (2007) eliminan el componente común ( $\mu_t$ ) reescalando por el promedio.

$$h_{it} = \frac{Y_{it}}{(\sum_{i=1}^n Y_{it})/n} = \frac{\lambda_{it}}{(\sum_{i=1}^n \lambda_{it})/n} \quad (3)$$

Ahora  $h_{it}$  es una medida relativa que captura la ruta de transición con respecto al promedio del panel. Para poder correr el test se define:

$$\lambda_{it} = \lambda_i + \sigma_{it} \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\text{Con: } \sigma_{it} = \sigma_i/[L(t) t^\alpha], \sigma_i > 0, t \geq 0$$

Además,  $\varepsilon_{it}$  puede ser levemente dependiente en el tiempo, pero es iid (0,1) con respecto a  $i$ . La función  $L(t)$  es creciente en  $t$  y diverge cuando  $t$  tiende a infinito.

$$H_0: \lambda_{it} = \lambda, \alpha \geq 0$$

$$H_1: \lambda_{it} \neq \lambda, \alpha < 0$$

Según Phillips y Sul (2007, 2009) el test se concentra en examinar el signo de  $\alpha$ . La forma de testear la hipótesis nula es a partir de la siguiente regresión:

$$\log\left(\frac{H_1}{H_0}\right) - 2 \log L(t) = \hat{c} + b \log t + \hat{u}_t \quad (5)$$

donde



$$H_t = \frac{1}{n} \sum (h_{it} - 1)^2 \quad i = 1 \dots n \quad (6)$$

es el cuadrado de la distancia relativa entre coeficientes. La regresión (5) es estimada para  $t = [rT], [rT] + 1, \dots, T$  en donde  $r$  se encuentra entre 0.2 y 0.3 siguiendo la recomendación de los autores. Dada la existencia de autocorrelación y la presencia de la heterocedasticidad, los autores recomiendan estimar errores estándares robustos para los coeficientes. Al ser un test a una cola, un estadístico  $T$  menor a -1.65, rechaza la hipótesis nula de convergencia (utilizando 5%).

La convergencia en clubes se analiza aplicando el test desarrollado por los autores de manera iterativa en varios pasos. El primer paso es ordenar los países de mayor a menor en función de los últimos datos. El segundo es seleccionar una “ $k$ ” cantidad de países. Para eso se van agregando países de a uno y se corre el test, en función de los resultados con y sin ese país, se decide si agregarlo o formar un nuevo club. Se repiten ambos pasos hasta agotar todos los países habiéndolos clasificado en clubes o como divergentes.

El criterio para la inclusión o no de un país dentro de un club es la siguiente maximización:

$$k^* = \text{ArgMax}_k \{t_{bk}\} > 1.65 \text{ para } k = 2, 3, \dots, N$$

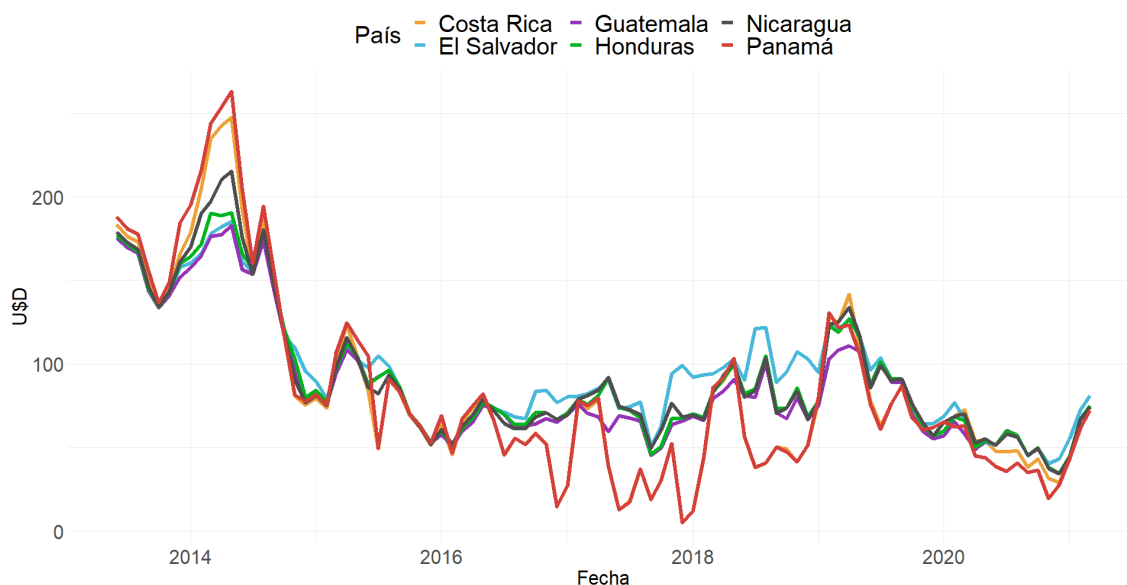
Finalmente, una vez conformados los clubes, una práctica común en la literatura es evaluar la convergencia entre ellos. Debido a que el mecanismo utilizado para su creación tiende a sobredimensionar la cantidad de clubes, es un ejercicio para generar resultados más robustos.

#### 4. Datos

Los datos utilizados en el ejercicio del análisis de la convergencia de precios en el contexto de la integración comercial del mercado de electricidad en Centroamérica (MER / SIEPAC) corresponden a los reportados por el EOR (ente operador regional). Son los precios diarios ex-ante por nodo. A partir de los mismos, se construyó la serie de precios diarios por países (promedio simple) presentada en el gráfico 2. Dadas las características del sector, se utilizaron los precios con mayor frecuencia posible (diarios) para realizar el análisis de convergencia. La serie de precios del MER se construye a partir del promedio de todos los precios de sus nodos.

Utilizando los precios ex-ante mensuales de cada uno de los nodos de los países, se construyeron las series presentadas en los Gráficos 2 y 3. El Gráfico 2 muestra la evolución de los precios spot de electricidad desde junio de 2013 hasta marzo de 2021.

Gráfico 2 - Precios (ex-ante) mensuales de electricidad por país.



Fuente: Elaboración propia en función a los datos publicados en EOR.

En las Tablas 1 y 2 se presentan algunas estadísticas descriptivas de los precios spot y las situaciones comerciales de los países. Particularmente en la Tabla 1 se presentan el promedio, la desviación estándar, el mínimo y el máximo de los precios de electricidad por país, habiendo previamente aplicado el filtro Hodrick-Presscott para eliminar la estacionalidad. Adicionalmente, se destaca que los países con menores precios promedio de electricidad son los que por un lado se encuentran en los extremos del SIEPAC, y por otro, los que suelen exportar. Por el contrario, aquellos con precios promedio más altos de electricidad, son los países ubicados en el centro, como muestra la tabla 2, los importadores del mercado.

Tabla 1 – Datos descriptivos por país en MWh/USD. Período: junio 2013-marzo 2021

País	Promedio	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo
COSTA RICA	83,9	54,2	5,3	255,2
PANAMÁ	84,8	57,8	5,3	269,1
GUATEMALA	87,7	38,1	25,2	185,4
HONDURAS	91,4	39,8	25,1	196,0
NICARAGUA	92,3	42,2	24,7	217,0
EL SALVADOR	95,9	37,1	35,4	189,0

Fuente: Elaboración propia en base a las oficinas de estadística nacionales

Dentro del periodo analizado, las series de Costa Rica y Panamá se destacan tanto por tener el precio más bajo, como por ser las series más volátiles. Esto se debe, principalmente a que, a partir del año 2016, entra en funcionamiento en Costa Rica la planta hidroeléctrica *Reventazon* con una capacidad instalada de 300 MW. Este fenómeno, sumado a la agresiva política nacional sobre energías renovables, logra el objetivo de dejar de utilizar la tecnología térmica (que queda únicamente como respaldo) para la generación en Costa Rica reduciendo significativamente el costo marginal del sistema. Debido a la disposición geográfica, el precio de Panamá queda totalmente dominado por las políticas y el perfil energético de Costa Rica.

Guatemala, en el extremo norte del SIEPAC, presenta una particularidad que lo distingue del resto de los países. Además de estar interconectado en el SIEPAC, es el único que se encuentra conectado con un país que no pertenece al SIEPAC, México. Esto le permite un grado de menor dependencia del precio de los demás países. Por ejemplo, durante los primeros seis meses del año 2019, la generación hidroeléctrica en los países que pertenecen al SIEPAC fue baja debido a la sequía. Durante ese periodo, todos los países se vieron obligados a aumentar su generación térmica. Guatemala, en cambio, contó con la posibilidad de aumentar sus importaciones desde México generando una menor suba en el precio de la electricidad con respecto al resto de los países del SIEPAC.

Como muestra la Tabla 2, tanto el consumo como el comercio muestran una clara tendencia creciente en todos los países a lo largo del tiempo. Además, los datos en dicha tabla nos permiten la posibilidad de dimensionar la capacidad de transmisión de punta a punta del SIEPAC, representando un 3.9% del total del consumo en la región. Finalmente, a partir de la entrada en funcionamiento del MER, se destaca la impronta exportadora de electricidad de Guatemala, Panamá y Costa Rica en contraste con el perfil importador de Nicaragua, El Salvador y Honduras.

Tabla 2 – Consumo y exportaciones netas por país

	Nicaragua	El Salvador	Honduras	Guatemala	Panamá	Costa Rica
<b>Año</b>	<b>Consumo GWh</b>					
<b>1990</b>	1331	2140	1962	2409	2869	3750
<b>1995</b>	1600	3180	2837	3653	3701	4950
<b>2000</b>	2195	4051	4234	5534	5049	6443
<b>2005</b>	2747	5175	6139	7124	5884	8078
<b>2010</b>	3288	5793	6731	8138	7282	9527
<b>2015</b>	4181	6484	8609	9800	9791	10606
<b>2016</b>	4338	6545	8962	10290	10117	10914
<b>2017</b>	4403	6464	9650	10524	10294	11008
<b>2018</b>	4572	6531	9524	10676	10709	11115
<b>2019</b>	4501	6582	9524	10426	11116	11334
	<b>Exportaciones netas GWh</b>					
<b>1990</b>	-66	-2	334	2	-90	-163
<b>1995</b>	0	35	18	-35	-7	-29
<b>2000</b>	-115	-696	-277	704	-117	509
<b>2005</b>	-17	-284	-56	312	51	-11
<b>2010</b>	33	-85	-9	136	-33	-24
<b>2015</b>	-12	-899	-149	841	122	108
<b>2016</b>	-187	-988	-179	1105	368	-132
<b>2017</b>	-326	-1585	-318	1722	312	198
<b>2018</b>	-201	-1759	-373	1789	313	242
<b>2019</b>	-434	-1292	-254	1648	335	-17

Fuente: Elaboración propia en base a las oficinas de estadística nacionales.

## 5. Resultados

El análisis de convergencia global, presentado en la Tabla 3, rechaza la hipótesis nula de convergencia a un único precio durante todo el periodo analizado. En este trabajo se estudia la convergencia a partir de conformación de subgrupos, denominados clubes. Según la metodología desarrollada por Phillips y Sul (2007), ante la evidencia de divergencia, existe la posibilidad de convergencia por subgrupos o clubes.

Tabla 3 – Test de convergencia global

log(t)	SIEPAC
Coefficiente	-1.668
Estadístico t ( $t_b$ )	-2.004

La Tabla 4 presenta los resultados de la convergencia en los precios diarios de los países que pertenecen al SIEPAC. Para implementar el algoritmo descrito en la sección de metodología, el orden de precios establecido por el algoritmo es el siguiente: 1. El Salvador, 2. Honduras, 3. Nicaragua, 4. Costa Rica, 5. Guatemala y 6. Panamá. Los resultados muestran que durante el periodo de investigación se identifican 2 clubes. Empezando con El Salvador, el algoritmo adhiere los países contiguos para poder identificar los clubes. Como se explica en la sección metodológica, el algoritmo frena al encontrar el máximo  $t_b$ , en este caso de -0.697 al incluir a Honduras y Nicaragua quienes junto a El Salvador forman el primer club. Luego, el algoritmo continúa el proceso con el siguiente en la lista, Costa Rica. Al volver a intentar maximizar el  $t_b$  resulta en la conformación de un segundo club junto a Guatemala y Panamá. En línea con la teoría desarrollada por Phillips y Sul (2007 y 2009) cuando  $t_b > -1.65$  no se puede rechazar la hipótesis nula de convergencia. Adicionalmente, dado que  $t_b < 0$  y que, en ambos casos, el coeficiente es negativo, nos permite concluir que los precios entre los países de cada club son débilmente convergentes.

Tabla 4 – Convergencia por clubes

log(t)	Club1	Club2
	ELS; HON; NIC	CRC; GUA; PAN
Coefficiente	-0,629	-1,483
Estadístico t ( $t_b$ )	-0,697	-1,326

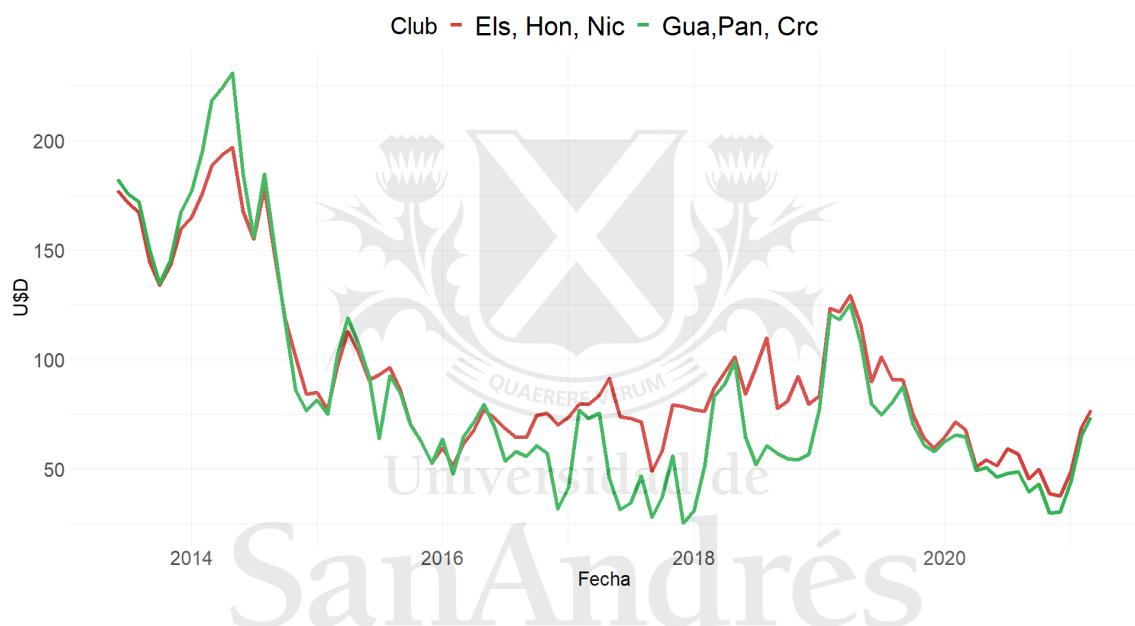
Resulta interesante el hallazgo de la conformación de los clubes y su convergencia. Por un lado, los países que se encuentran en el centro del SIEPAC (El Salvador, Honduras y Nicaragua) reportan un precio promedio más elevado y una mayor velocidad de convergencia entre sí. Por el otro, los países de las puntas (Panamá, Costa Rica y Guatemala) condicionados por diferentes motivos (mixes de generación, funcionamiento de los sistemas y posibilidades de importar desde México) presentan precios más bajos y convergen entre sí.

Finalmente, los resultados obtenidos anteriormente muestran que el precio de la electricidad entre los 6 países del SIEPAC aún no ha convergido, pero que, al subdividirse en grupos, se encuentra evidencia de una convergencia débil. Como sugieren los autores de la metodología,

al analizar la convergencia de los dos clubes encontrados, se confirma la divergencia. Es posible que, dado que el comercio en el SIEPAC se encuentra en crecimiento desde su fundación, a medida que los países aprovechen las diferencias de precios para comerciar, estas vayan disminuyendo aún más. Actualmente la conformación de clubes coincide con los perfiles de mercado de los países. Por un lado, los exportadores netos de electricidad: Guatemala, Panamá y Costa Rica. Por el otro, aquellos países que suelen cubrir parte del consumo con importaciones de electricidad: El Salvador, Honduras y Nicaragua.

El Gráfico 3 muestra la diferencia entre los precios promedio de cada uno de los clubes establecidos por el algoritmo numérico desarrollado por Phillips y Sul (2007). A partir del año 2015 el precio del club de los exportadores se muestra siempre por debajo o igual al del club de los importadores.

Gráfico 3 – Precios (ex-ante) mensuales de electricidad por club



Fuente: Elaboración propia en función a los precios publicados por el EOR

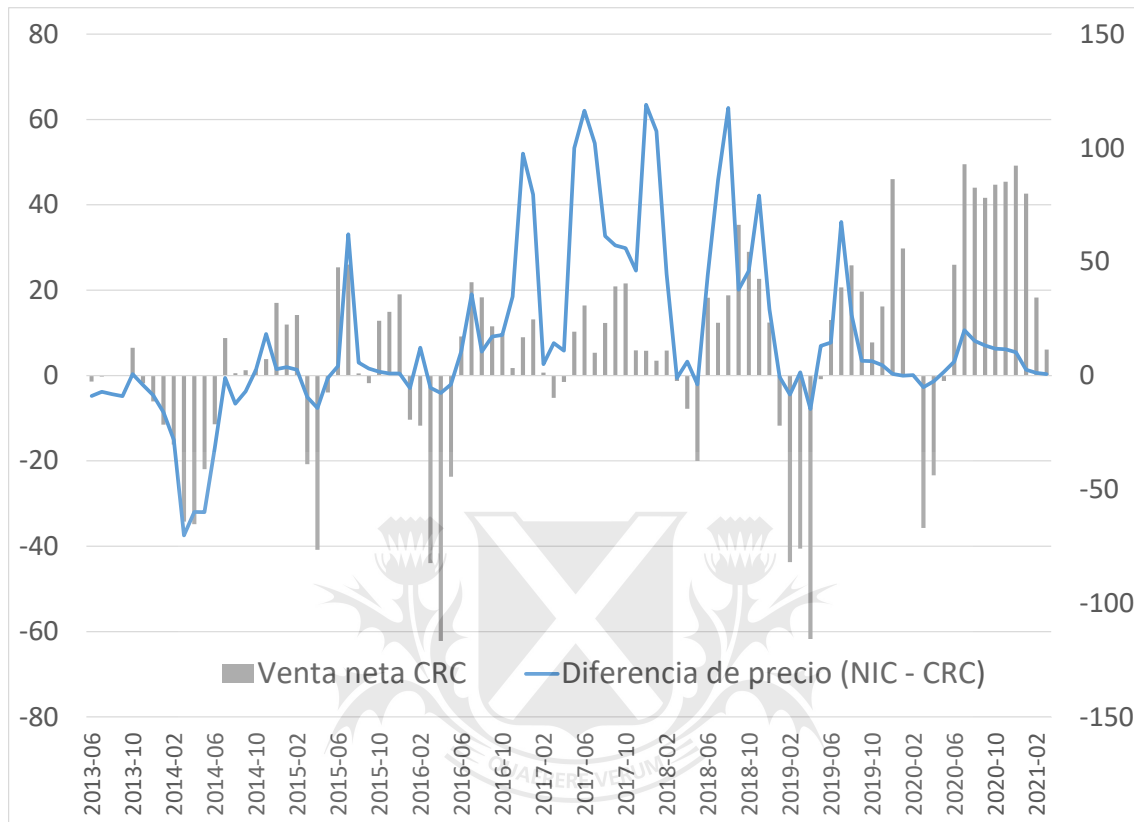
En el Gráfico 4 se muestra evidencia a favor de la relación entre el comercio y el diferencial de precios. En este caso, se utiliza a modo de ejemplo la relación comercial entre Nicaragua (club importador) y Costa Rica (club exportador) con el fin de mostrar la relevancia en el diferencial de precios analizada. Se destaca que el comercio de electricidad entre ambos, está íntimamente relacionado con el diferencial de precios entre ambos países. Al haber capacidad de transmisión disponible y ausencia de convergencia global, esto sugiere que en el SIEPAC aún puede haber ganancias relevantes a partir del comercio entre los países.

En particular, se destaca que la diferencia de precios presentada en el Gráfico 4 determina la dirección, pero no necesariamente la magnitud de dicha diferencia indica la cantidad de comercio entre los países.

Esta evidencia sostiene que el comercio de electricidad en el SIEPAC es fuertemente dependiente de las diferencias de precio. Por lo tanto, es factible que ante una mayor integración comercial los países puedan aprovechar las ventajas comparativas o coyunturales

del sector, comercien y eventualmente logren una reducción en el nivel y la dispersión de los precios spot.

Gráfico 4 – Ventas netas vs. Diferencial de precios (ex-ante) mensuales de electricidad por país.



Fuente: Elaboración propia en función a los precios nacionales

En el trabajo de Cont, Barril y Carbo (2021) se presenta un estudio profundo sobre la convergencia de los precios spot de electricidad en donde además de analizar las fuerzas de convergencia, se hacen análisis por cortes temporales. En ese trabajo se muestra como la introducción de la planta hidroeléctrica en Costa Rica genera un aumento transitorio en la dispersión de los precios. Ese ejercicio acompañado de evidencia indirecta a favor de una reducción en el nivel de precios spot (luego de haber considerado el costo del gas natural o los combustibles) son un buen complemento a este trabajo para comprender como impacta proceso de integración eléctrica y su relación con la convergencia de precios.

Si bien escapa los objetivos del presente trabajo, existen documentos que analizan el beneficio económico del SIEPAC. Por ejemplo, Echevarría et al. (2017) realizan un análisis “ex post” del beneficio neto derivado de las transacciones en el SIEPAC entre junio de 2013 y diciembre de 2015. Los autores encuentran un beneficio neto de US\$ 131 millones. También, Levy Ferre et al. (2019) hacen un análisis de los beneficios del proyecto de integración en comparación con un escenario sin integración. Los autores presentan un análisis “ex ante” basándose en datos de 2015 y haciendo una proyección hasta el año 2024 y encuentran que el beneficio neto regional alcanza los US\$ 70 millones.

## 5. Conclusiones

La creación del mercado eléctrico regional (MER) de la mano con la interconexión de los sistemas nacionales (SIEPAC) entre seis países de América Central motiva la posibilidad del estudio de la convergencia de los precios además de ser la experiencia más importante de integración energética entre países de Latinoamérica. Si bien aún lejos de los niveles de integración del mercado eléctrico europeo la diferencia es notoria en la comparación con las conexiones bilaterales existentes en Sudamérica.

Este trabajo aporta evidencia rigurosa que sostiene que el resultado convergencia global en el precio spot de la electricidad que se transa entre los países a través del MER, no es robusto. De todas maneras, la experiencia de integración comercial del mercado eléctrico en América Central, expone evidencia de convergencia de los precios spot en dos subgrupos: por un lado, los exportadores netos de la región (Guatemala, Costa Rica y Panamá) y, por el otro, los países importadores (El Salvador, Nicaragua y Honduras).

Desde la perspectiva de mercado es interesante encontrar la convergencia de precios en dos diferentes clubes. Este estudio permite entender que la integración, el rol en los mercados, la conformación de las matrices de generación y las posibilidades de importar de otros países juegan un rol determinante en los niveles de los precios de la electricidad. Adicionalmente, como destaca la literatura, la estabilidad y la convergencia de precios es un atractivo relevante para atraer inversiones (Batalla et al. 2021). Los procesos de integración como el SIEPAC, además de generar ganancias de eficiencia gracias al comercio y generar beneficios netos positivos, funcionan como una señal de respeto a la institucionalidad general en la región.

Si bien aún queda camino por recorrer para alcanzar un nivel de integración más profundo, la experiencia del sector es una excepción para América Latina. Queda pendiente para futura investigación estudiar en detalle que esta convergencia de precios viene acompañada de menores niveles de precios, y si la determinación de las ganancias de eficiencia, la reducción y convergencia de precios mencionadas son justamente distribuidas entre los países y logran los efectos deseados sobre los consumidores y el bienestar general. Evidencia preliminar estaría indicando que no necesariamente es el caso (Echevarría et al., 2017).

## Referencias

- Apergis, N., Fontini, F., & Inchauspe, J. (2017). Integration of regional electricity markets in Australia: A price convergence assessment. *Energy Economics*, 62, 411-418.
- Balaguer, J. (2011). Cross-border integration in the European electricity market. Evidence from the pricing behavior of Norwegian and Swiss exporters. *Energy Policy*, 39(9), 4703-4712.
- Barro, R. J., & Sala-i-Martin, X. (1990). Economic growth and convergence across the United States.
- Batalla, J., Paniagua, J., & Trujillo-Baute, E. (2021). Integración de mercados energéticos y captación de proyectos de inversión extranjera directa, mimeo.
- Baumol, W. J. (1986). Productivity growth, convergence, and welfare: what the long-run data show. *The American Economic Review*, 1072-1085.
- Bunn, D. W., & Gianfreda, A. (2010). Integration and shock transmissions across European electricity forward markets. *Energy Economics*, 32(2), 278-291.
- Cont W, Barril D & Carbo, A (2021). Price convergence in the Central American regional electricity market.
- CIER. (2020). Interconexiones internacionales: Información de las interconexiones eléctricas y gasíferas en países de América del Sur y América Central. Recuperado de <https://www.cier.org/es-uy/Lists/EstadisticasLD/MapaInterconexiones.pdf>
- de Menezes, L. M., & Houllier, M. A. (2016). Reassessing the integration of European electricity markets: A fractional cointegration analysis. *Energy Economics*, 53, 132-150.
- Echevarría, C., Jesurun-Clements, N., Mercado Díaz, J. E., & Trujillo, C. (2017). *Integración eléctrica centroamericana: Génesis, beneficios y prospectiva del Proyecto SIEPAC: Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central*. Recuperado de <https://publications.iadb.org/es/integracion-electrica-centroamericana-genesis-beneficios-y-prospectiva-del-proyecto-siepac-sistema>
- EOR. (2021). *Estudio de máximas capacidades de transferencia de potencia*.
- Gianfreda, A., Parisio, L., & Pelagatti, M. (2016). Revisiting long-run relations in power markets with high RES penetration. *Energy Policy*, 94, 432-445.
- Growitsch, C., Nepal, R., & Stronzik, M. (2015). Price convergence and information efficiency in German natural gas markets. *German Economic Review*, 16(1), 87-103.
- Kalantzis, F., & Milonas, N. T. (2010, June). Market integration and price dispersion in the European electricity market. In 2010 7th International Conference on the European Energy Market (pp. 1-6). IEEE.



- Kaldor, N. (1957). A model of economic growth. *The economic journal*, 67(268), 591-624.
- King, M., & Cuc, M. (1996). Price convergence in North American natural gas spot markets. *The Energy Journal*, 17(2).
- Levy Ferre, A., Alberto Tejada, J., & Di Chiara, L. (2020). *Integración eléctrica regional: Oportunidades y retos que enfrentan los países de América Latina y el Caribe*. Inter-American Development Bank.
- Lucas Jr, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of monetary economics*, 22(1), 3-42.
- Montañés, A., & Olmos, L. (2013). Convergence in US house prices. *Economics Letters*, 121(2), 152-155.
- Panopoulou, E., & Pantelidis, T. (2009). Club convergence in carbon dioxide emissions. *Environmental and Resource Economics*, 44(1), 47-70.
- Phillips, P. C., & Sul, D. (2007). Transition modeling and econometric convergence tests. *Econometrica*, 75(6), 1771-1855.
- Quah, D. (1993). Galton's fallacy and tests of the convergence hypothesis. *The Scandinavian Journal of Economics*, 427-443.
- Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, 94(5), 1002-1037.
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 70(1), 65-94.
- Zachmann, G. (2008). Electricity wholesale market prices in Europe: Convergence? *Energy Economics*, 30(4), 1659-1671.