

CLUBES DE CONVERGENCIA EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PER CÁPITA EN MÉXICO A NIVEL DE ENTIDADES FEDERATIVAS

RODRÍGUEZ-BENAVIDES, Domingo
MENDOZA-GONZÁLEZ, Miguel Ángel
GÓMEZ.-AGUIRRE, Mario

Resumen. En el artículo se examina la convergencia en el consumo de energía eléctrica per cápita a nivel de entidades federativas en México durante el período 2002-2020 a través del enfoque de convergencia de clubes de Phillips-Sul (2007, 2009). Encontramos evidencia de múltiples clubes de convergencia para el consumo de energía eléctrica per cápita. Los resultados ponen de relieve la necesidad de diseñar políticas diferenciadas para reducir el consumo de energía de las entidades. El reconocimiento de las diferencias en los patrones de convergencia entre las entidades es importante para el diseño y la aplicación de políticas para reducir el consumo de energía.

Palabras clave: Consumo de Energía Per Cápita, Prueba de clubes de Convergencia, México.

Clasificación JEL: C23, O47, O54

Abstract: The article examines the convergence in electricity consumption per capita at the level of states in Mexico during the period 2002-2020 through the convergence approach of Phillips-Sul clubs (2007, 2009). We find evidence of multiple convergence clubs for electricity consumption per capita. The results highlight the need to design differentiated policies to reduce the energy consumption of entities. Recognition of differences in convergence patterns between entities is important for the design and implementation of policies to reduce energy consumption.

1. Introducción

El concepto de convergencia proviene del modelo de Solow (1956, 1957), el cual predice que el crecimiento económico se alcanza mediante el progreso tecnológico y las economías tienden a converger al equilibrio de estado estacionario a largo plazo. Una gran cantidad de trabajos han probado la hipótesis de convergencia económica a través del ingreso per cápita entre distintos grupos de países y regiones, Ben-David (1993), Quah (1996) y Slaughter (1997) por mencionar sólo algunos.

Domingo Rodríguez Benavides, Doctor en Economía , Profesor del Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, dorobe@azc.uam.mx. Miguel Ángel Mendoza González (autor de correspondencia), Doctor en Economía, Profesor-Investigador en la Facultad de Economía, División de Estudios de Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México mendozag@unam.mx. Mario Gómez Aguirre, Doctor en Economía , Profesor-Investigador en el Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE). Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo gomez_ininec@hotmail.com

Agradecimientos: Esta investigación fue financiada por el proyecto PAPIIT-IN308721 “Políticas públicas de reactivación y reestructuración económica urbana en México ante impactos económicos y sociales de la COVID-19 en México”.

La idea de probar convergencia en el contexto de la literatura sobre economía energética y medioambiental se ha explorado recientemente, Ivanovski, Churchill y Smyth (2018). Esta literatura incluye estudios sobre la convergencia de los contaminantes, Aldy (2006), Ezcurra (2007b), Herrerías (2013), Van (2005), Romero-Ávila (2008), Strazicich y List (2003), Westerlund y Basher (2008) y el consumo de energía, Fallahi (2017), Fallahi y Voia (2015), Mohammadi y Ram (2012), Payne *et al.* (2017a) y Solarin *et al.* (2018), Castellanos-Sosa, Cabral y Varella (2022) y Romero-Ávila y Omay (2022) entre otros.

La mayoría de los estudios que han examinado la convergencia energética lo ha hecho en un contexto transnacional o con datos de grupos de países, Anoruo y Dipietro (2014), Fallahi (2017), Meng *et al.* (2013), Mishra y Smyth (2014). Estos estudios emplean pruebas de raíz unitaria para examinar la convergencia estocástica y bajo este enfoque encuentran evidencia que favorece la convergencia en el consumo de energía. Recientemente, se han llevado a cabo estudios para países específicos, los cuales se centran en la energía desagregada en provincias o regiones dentro de los países o bien, en diferentes sectores, Mishra y Smyth (2014), Smyth y Narayan (2015), Payne *et al.* (2017b) y Mishra y Smyth (2017). En este sentido México no es la excepción ya que los únicos estudios que examinan la convergencia en el consumo de energía per cápita son Tinoco y Torres (2021) y Castellanos-Sosa, Cabral y Varella (2022), el primer estudio examina la convergencia estocástica en Canadá, México y Estados Unidos durante el periodo de 1965 a 2019, mientras que el segundo analiza la convergencia en los 32 estados mexicanos desde 2002 hasta 2017 a través de técnicas de correlación espacial.

El estudio del consumo de energía eléctrica per cápita en México es importante dentro del contexto de la reforma energética de 2013, cuyo principal objetivo consiste en liberalizar el sector energético estatal y contemplar la presencia de nuevos participantes en el mercado que promuevan el uso de tecnologías limpias, como la solar, la geotérmica y la cogeneración, Bushnell *et al.* (2019), Massa y Rosellón (2020) y Castellanos-Sosa, Cabral y Varella (2022).

En este trabajo examinamos la convergencia relativa a través de la prueba *log t* de Phillips y Sul (2007). El uso del análisis de clubes para comprobar la divergencia o convergencia en el consumo de energía a nivel de entidades permite examinar las trayectorias de transición del consumo de energía, así como su evolución en el tiempo.

El enfoque de la prueba *log t* ofrece una serie de ventajas potenciales sobre otros enfoques para estudiar la convergencia, entre otras que se basa en un modelo general de factores no lineales que varían en el tiempo y que tiene en cuenta la posible heterogeneidad transitoria, Panopoulou y Pantelidis (2009).

En presencia de heterogeneidad, las pruebas estándar de cointegración y raíz unitaria pueden no ser las adecuadas para probar convergencia, Phillips y Sul (2007). Este enfoque es robusto frente a la heterogeneidad y también frente a las propiedades estocásticas de las series y puede interpretarse como una prueba de cointegración asintótica que no adolece de las propiedades de las muestras pequeñas de las pruebas convencionales de raíz unitaria y cointegración, Panopoulou y Pantelidis (2009). Adicionalmente, la prueba *log t* permite determinar endógenamente las entidades que

pertenecen a cada club de convergencia, lo cual puede ser importante para orientar las políticas de reducción del consumo de energía, Ivanovski, Churchill y Smyth (2018).

Nuestros resultados indican la existencia de múltiples clubes de convergencia del consumo energético per cápita en las entidades federativas de México. Estos resultados tienen importantes implicaciones para la política, dado que la existencia de clubes sugiere que una política energética común o única puede no ser eficaz en todas las entidades federativas de México. Dado que los diferentes clubes de entidades muestran diversos patrones de convergencia energética, es importante diseñar políticas pertinentes para influir en el consumo de energía identificado para las entidades que conforman cada club.

El trabajo contribuye a la literatura sobre la convergencia en el consumo de energía de varias formas.

Una de ellas es que examinamos la convergencia en consumo de energía desagregado por entidades. Esto es importante porque la convergencia en el consumo energético agregado entre países puede ocultar las diferencias regionales y sectoriales subnacionales, Ivanovski, Churchill y Smyth (2018).

En segundo lugar, contribuimos a la escasa literatura que ha examinado la convergencia en el consumo de energía a nivel subnacional.

La tercera es que utilizamos el enfoque metodológico desarrollado por Phillips y Sul (2007) que tiene varias ventajas sobre otras pruebas de convergencia. En concreto, permite realizar pruebas estrictas de los clubes de convergencia y, por tanto, estimar las trayectorias de transición de la convergencia en relación con las tendencias comunes del grupo o grupos identificados. Además, la aplicación de la metodología de Phillips y Sul (2007) en la bibliografía sobre energía es relativamente nueva y no se basa en fuertes supuestos de tendencia o estacionariedad estocástica en el proceso de generación de datos.

El resto del trabajo está estructurado de la siguiente manera. La siguiente sección ofrece una visión general de la literatura relacionada. La sección 3 describe la metodología. Mientras que la sección 4 presenta los resultados empíricos. La última sección enuncia las conclusiones.

2. Revisión de la literatura

El cuadro 1 muestra una relación concisa de la literatura ordenada por enfoque econométrico.

Las pruebas de convergencia estocástica señalan que la convergencia estocástica en el consumo de energía per cápita o en las variables relacionadas tiene lugar para el caso de muestras relativamente pequeñas de países como la OCDE, los países de la UE o los estados y sectores dentro del mismo país. Sin embargo, cuando el enfoque se extiende a muestras mucho más amplias de países, como en Le Pen y Sevi (2010), no hay evidencia de convergencia estocástica para toda la muestra.

Una segunda consideración ha sido aumentar la potencia estadística explotando la dimensión de panel de datos, de la forma en que proceden Mishra y Smyth (2014). Un tercer planteamiento está relacionado con el uso de intervalos de confianza para determinar el grado de persistencia con mayor precisión. Cuando la muestra se limita a 25 países de la OCDE, hay pruebas de convergencia estocástica en más de la mitad de los países, Fallahi y Voia (2015), mientras que cuando el análisis abarca una muestra amplia de 109 países, menos del 25% de los pares de países parecen mostrar una convergencia estocástica en el uso de energía per cápita, Fallahi (2017).

Un cuarto método consiste en el uso de pruebas de raíz unitaria que incorporan no linealidades en el proceso de convergencia. En el caso de una muestra reducida de 19 países de la APEC Le *et al.* (2017) encuentra convergencia, mientras que cuando la muestra se extiende a 21 países de la OCDE y 14 países emergentes, solo 22 convergen estocásticamente, Cai y Menegaki (2019). Un estudio reciente de Liu y Lee (2020) constituye una clara excepción a este enfoque, al examinar una amplia muestra de 107 países encuentran evidencia de convergencia estocástica en el 70% de los países.

Otra propuesta es el uso de la prueba de convergencia *log-t* de Phillips y Sul (2007). Esta técnica de agrupación normalmente proporciona evidencia de la presencia de varios clubes de convergencia, independientemente de si se trata de países o de regiones y sectores dentro de un mismo país. Este resultado es coherente con la convergencia condicional, es decir, con la existencia de grupos de países que comparten características estructurales convergiendo a sus respectivos estados estables.

Cuadro 1. Resumen de los estudios empíricos relevantes

Autor (año)	País o región	Metodología	Resultados
Payne et al. (2017b)	50 estados de Estados Unidos además del Distrito de Columbia	Prueba de raíz unitaria LM y RALS-LM	Convergencia
Bhattacharya et al. (2018)	30 estados y territorios de la India basado en datos firmes	Estocástico y Análisis de convergencia de clubes.	Dos clubs convergentes, de los cuales uno es divergente.
Dehghan Shabani y Shahnazi (2021)	28 provincias Iraníes	σ y β convergencia y Cadenas de Markov, Clubes de Convergencia con el enfoque de Phillips-Sul	Clubes de convergencia en la energía total, gas natural, electricidad e intensidad del consumo del petróleo. La evidencia soporta la presencia de dos clubes de convergencia en energía.
Bhattacharya et al. (2020)	7 estados/territorios Australianos.	σ y β convergencia y Cadenas de Markov, Clubes de Convergencia con el enfoque de Phillips-Sul	La evidencia apoya la presencia de convergencia en dos clubes de energía.
Li et al. (2019)	256 prefecturas Chinas	Enfoque de Cadena de Markov	Convergencia significativa entre 256 provincias chinas
Jiang et al. (2018)	29 provincias Chinas	Convergencia Sigma y análisis de densidad de Kernet y Convergencia Beta condicional e incondicional, clubes de convergencia con el enfoque Phillips-Sul	Los resultados empíricos muestran que la omisión de derrames espaciales subestima la convergencia condicional de beta.
Ivanovski et al. (2018)	7 estados/territorios Australianos y 9 industrias	Convergencia Sigma, análisis de densidad de Kernet y convergencia beta condicional	Evidencia de múltiples clubes de convergencias para el agregado consumo de energía per capita y

		e incondicional, clubes de convergencia con el enfoque Phillips-Sul	consumo de energía per capita en ocho de los nueve sectores con capacidad total de convergencia en el caso de electricidad.
Mohammadi y Ram (2017)	48 estados de Estados Unidos	Beta, gamma, sigma, Kernel y convergencia estocástica	Evidence mixta
Herrerías et al. (2017)	29 provincias Chinas	Enfoque de convergencia Phillips-Sub (convergencia de clubes)	El análisis de convergencia de clubes confirma que el consumo de energía rural y residencial converge en diferentes estados estacionarios
Borozan (2017)	21 condados de Croacia	Raíz unitaria del panel y técnicas de series de tiempo	El consumo de electricidad per capita exhibe diferentes propiedades de tiempo indicando los diferentes patrones conductuales en el largo plazo y las diferencias regionales
Hao y Peng (2017)	30 provincias Chinas	Modelos econométricos dinámicos espaciales, convergencia beta	Los resultados empíricos indican convergencias β -absolutas y condicionales en el consumo de energía per cápita alrededor de las provincias
Burnett y Madariaga (2016)	50 estados de Estados Unidos además de, Distrito de Columbia	Método general de estructura de momentos	Los resultados empíricos indican convergencia en la intensidad de la energía
Zhang y Broadstock (2016)	28 provincias Chinas	Enfoque de convergencia de club Phillips-Sul	Tres diferentes clubes de convergencia son diferentes a aquellos que previamente habían sido identificados utilizando las divisiones geográficas tradicionales
Cai y Menegaki (2019)	21 economías de la OCDE y 14 economías emergentes	Pruebas de estacionariedad de panel con múltiples rupturas de Carrion-Silvestre et al. (2005) con una función de Fourier flexible de Fourier.	Evidencia de convergencia en el consumo de energía limpia per cápita en 22 países, mientras que divergencia en el resto.
Liu y Lee (2020)	107 Países	Pruebas de Panel KSS con una función flexible de Fourier.	El 70% de los países convergen. Las economías de renta alta y de renta media-alta convergen. De igual forma, los países exportadores de energía muestran mayor convergencia que los importadores de energía.
Castellanos-Sosa, Cabral y Varella (2022)	32 Entidades Federativas de México	Modelos econométricos de sección cruzada y espaciales dinámicos	Evidencia de altas tasas de convergencia en los modelos dinámicos espaciales y de una relación en forma de U invertida entre el consumo de energía per cápita y el PIB per cápita.
Romero-Ávila y Omay (2022)	110 Países	Pruebas de Raíces Unitarias No-lineales en Panel (ESTAR, AESTAR y TAR)	Encuentran evidencia de convergencia estocástica en los países de alto ingreso y de ingreso medio alto. Un resultado similar se encuentra en las pruebas de convergencia determinista.

Fuente: Actualizado a partir del cuadro 1 de Castellanos-Sosa et al. (2022).

Aparte de los estudios que emplean pruebas de raíz unitaria o técnicas relacionadas, también hay un puñado de estudios que emplean el análisis del núcleo de la dinámica de la distribución, Quah (1996) o el análisis de regresión de β -convergencia condicional, Barro y Sala-i-Martin (1992). Al igual que con la definición de convergencia estocástica, la convergencia β y σ se encuentra generalmente en estudios que abordan muestras estrechas, como los países de la OCDE y la UE, o en regiones y sectores dentro de un país.

En cambio, en los estudios que se ocupan de muestras grandes de países, como Liddle (2010), las pruebas de convergencia se limitan a los países de la OCDE y de Eurasia, que suelen formar parte de los grupos de países de renta alta o media-alta. Por último, los estudios que emplean el análisis no paramétrico de la dinámica distributiva de distribución no paramétrica para grandes muestras de países disparidades entre países a largo plazo, que son coherentes con una distribución multimodal.

En conjunto, las pruebas de los distintos enfoques estadísticos favorecen la presencia de una dinámica de convergencia entre 1) grupos específicos de países que normalmente comparten un nivel de desarrollo comparable (especialmente los países de renta alta), 2) estados o regiones dentro del mismo país, y 3) sectores dentro del mismo país o un número limitado de países similares.

3. Modelo de convergencia relativa

3.1 Prueba de convergencia y de agrupamiento en Clubes

Empleamos el modelo de factor común variable en el tiempo de Phillips y Sul (2007, 2009) para probar la hipótesis de convergencia relativa a una tendencia común en el consumo de energía eléctrica per cápita a nivel de entidades federativas en México. Específicamente, el factor común variable en el tiempo factor común se define como:

$$y_{it} = \delta_{it} \mu_t \quad (1)$$

donde y_{it} es el consumo de energía eléctrica per cápita de la entidad i en el momento t ; μ_t es un factor común o componente de tendencia en el panel; y δ_{it} es un componente idiosincrásico que capta tanto los efectos específicos de cada individuo como los efectos temporales. En forma semi-paramétrica, δ_{it} viene dado por:

$$\delta_{it} = \delta_i + \sigma_i \xi_{it} L(t)^{-1} t^{-\alpha} \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

donde δ_{it} es fija; $\xi_{it} \square iid(0,1)$ que varía entre las entidades $i = 1, 2, \dots, 32$, y es débilmente dependiente en el tiempo t ; y σ_i es un parámetro de escala idiosincrático; $L(t)$ es una función que varía lentamente en el tiempo y que $L(t) \rightarrow \infty$ cuando $t \rightarrow \infty$; y el parámetro α es la velocidad a la que la variación de la sección transversal decae con el tiempo hasta llegar a cero.

La hipótesis nula de convergencia es $H_0 : \delta_i = \delta$ y $\alpha_i \geq 0$ frente a la hipótesis alternativa $H_A : \{\delta_i = \delta \text{ para todo } i \text{ con } \alpha_i < 0\}$ o $\{\delta_i \neq \delta \text{ para algún } i \text{ con } \alpha_i \geq 0 \text{ o } \alpha_i < 0\}$.

Además, no es necesario imponer ninguna condición de estacionariedad o no a y_{it} ni a μ_t . Phillips y Sul (2007, 2009) emplean la medida de distancia cuadrática, H_t , de la siguiente manera:

$$H_t = \frac{\sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2}{N} \quad (3)$$

donde h_{it} representa el coeficiente de transición relativa:

$$h_{it} = \frac{y_{it}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{it}} = \frac{\delta_{it}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{it}} \quad (4)$$

el cual captura la trayectoria de transición en relación con la media del panel. Cuando existe un comportamiento de transición común o límite entre los países individuales ($h_{it} = h_t$ a través de las i), la convergencia se produce cuando $h_{it} \rightarrow 1$ para todo i en la medida en que $t \rightarrow \infty$, pero cuando no hay convergencia la distancia sigue siendo positiva a medida que $t \rightarrow \infty$.

Posteriormente se establece que $L(t) = \log t$ en el modelo de decaimiento planteado en la ecuación (2) para que la regresión empírica de $\log t$ pueda emplearse para comprobar los clubes de convergencia de la siguiente manera:

$$\log(H_1/H_t) - 2\log L(t) = \hat{a} + \hat{b} \log t + u_t \quad (5)$$

para $t = rT, rT+1, \dots, T$ cuando $r > 0$ se establece en el intervalo $[0.2, 0.3]$. Para $\hat{b} = 2\alpha$, la hipótesis nula se basa en una prueba unilateral de $\hat{b} \geq 0$ contra $\hat{b} < 0$.

El procedimiento de Phillips y Sul (2007, 2009) utiliza un algoritmo de agrupamiento para identificar los clubes de convergencia dentro del panel definido como sigue:

- (i) Ordena las medidas de las N unidades en función de los valores finales de sus observaciones de la serie temporal;
- (ii) Empezando por la unidad de mayor orden, añade unidades adyacentes de la lista ordenada y estime la regresión planteada en la ecuación (5), y a

continuación se identifica un grupo central mediante el criterio del punto de corte $k^* = ArgMax_k \left\{ t_{\hat{b}_k} \right\}$ sujeto a $Min_k \left\{ t_{\hat{b}_k} \right\} > -1.65$, para $k = 2, 3, \dots, 32$;

- (iii) Añada una unidad cada vez de los restantes al grupo central, y volver a estimar (5) utilizando el criterio de signo $(\hat{b} \geq 0)$ para determinar si una unidad se incorpora al grupo central grupo central;
- (iv) Para el caso de las unidades restantes, se repiten los pasos anteriores iterativamente hasta que ya no se puedan formar clubes.

Sobre la base de este procedimiento iterativo, cada club se asocia con su propia trayectoria de convergencia. Si las unidades no muestran convergencia, forman un club no convergente.

4. Resultados

4.1 Los datos

El periodo de análisis comprende de 2002 a 2020 de la variable consumo de energía eléctrica per cápita a nivel de las 32 entidades federativas en México, los datos del consumo de energía eléctrica provienen de la Secretaría de Energía y son proporcionados en gigawatts por hora mientras que los datos de la población de las entidades federativas provienen las estimaciones efectuadas por Mendoza (2021) a partir del Modelo de Impacto Regional (MIR) en México con Censos de Población del INEGI.

En el cuadro 2 se presentan algunos estadísticos básicos sobre el consumo de energía, el PIB per cápita y la población de cada una de las entidades federativas. Con el indicador del consumo de energía per cápita se identifica que los mayores consumidores se concentran en diez entidades federativas localizadas en su mayoría en el norte del país y principalmente donde el turismo de playa es la principal actividad productiva, como son los casos de Baja California Sur y Colima, y hacia la región sur-sureste del país destaca el caso especial de Quintana Roo.

El mayor consumo de energía per cápita tiende a aumentar con el ingreso por habitante, que se muestra claramente para el grupo de las diez entidades federativas identificadas anteriormente, pero también destaca la Ciudad de México por ser un contraejemplo donde el consumo de energía eléctrica es menor al promedio nacional y es la economía con el mayor pib por habitante, sin considerar al estado de Campeche por el sesgo de los ingresos petroleros.

La otra vinculación interesante es entre consumo de energía eléctrica y la distribución de la población entre las entidades federativas, donde se relacionan de manera inversa debido principalmente al menor consumo de energía eléctrica en el Estado de México y la Ciudad de México que son las dos entidades federativas con la mayor concentración de la población del país; 21% de la población total; ver cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución del consumo de energía eléctrica, PIB per cápita y población regional de México: Estadísticos básicos, 2002-2020

	Consumo de energía (gigawatts por hora per cápita)	Relación del promedio nacional	PIB por habitante (Pesos de 2013)	Relación del promedio nacional	Población total (millones de personas)	Proporciones del total	Tasas de crecimiento 2002-2020, promedio anual		
	2020		2020		2020		Consumo de energía	PIB por habitante	Población
Aguascalientes	1,870.9	1.0	141.1	1.1	1.4	1.1	0.1	1.0	2.4
Baja California	2,870.8	1.6	161.4	1.3	3.4	2.7	-0.1	0.5	2.4
Baja California Sur	3,113.4	1.7	157.8	1.2	0.7	0.6	1.8	0.0	4.1
Campeche	1,454.3	0.8	491.1	3.8	0.9	0.8	2.3	-3.6	1.6
Coahuila	3,002.0	1.6	170.0	1.3	3.1	2.5	-1.1	-0.2	1.8
Colima	2,857.8	1.5	131.9	1.0	0.7	0.6	1.3	0.4	1.8
Chiapas	584.5	0.3	44.7	0.3	5.5	4.4	2.0	-1.4	2.0
Chihuahua	3,536.5	1.9	145.3	1.1	3.6	3.0	2.3	1.7	1.1
Ciudad de México	1,232.9	0.7	318.9	2.5	8.9	7.2	-1.1	1.5	0.4
Durango	1,729.0	0.9	101.3	0.8	1.8	1.5	0.5	0.2	1.4
Guanajuato	1,836.5	1.0	106.1	0.8	6.0	4.9	1.6	1.0	1.6
Guerrero	897.9	0.5	59.6	0.5	3.6	2.9	1.2	0.1	0.8
Hidalgo	1,198.0	0.6	80.6	0.6	3.0	2.4	-0.9	0.2	2.0
Jalisco	1,562.4	0.8	135.4	1.1	8.1	6.6	0.4	0.6	1.6
Estado de México	940.4	0.5	86.7	0.7	16.8	13.6	-0.9	0.6	1.5
Michoacán	1,517.1	0.8	82.8	0.6	4.7	3.8	-0.3	0.8	1.1
Morelos	1,257.4	0.7	88.6	0.7	2.0	1.6	0.0	-0.4	1.4
Nayarit	1,305.3	0.7	84.8	0.7	1.2	1.0	2.7	0.0	1.8
Nuevo León	2,766.0	1.5	224.0	1.7	5.4	4.4	-1.3	0.8	2.5
Oaxaca	697.4	0.4	58.2	0.5	4.0	3.3	1.2	0.0	1.1
Puebla	1,051.2	0.6	80.8	0.6	6.4	5.2	-0.7	0.5	1.5
Querétaro	2,033.6	1.1	163.2	1.3	2.2	1.7	-0.3	0.8	3.3
Quintana Roo	2,336.3	1.3	131.3	1.0	1.6	1.3	0.3	-0.3	5.0
San Luis Potosí	2,022.6	1.1	120.0	0.9	2.8	2.3	0.8	1.7	1.1
Sinaloa	2,414.0	1.3	116.3	0.9	3.1	2.5	3.3	0.7	1.0
Sonora	3,722.6	2.0	182.3	1.4	3.0	2.4	0.5	1.0	1.6
Tabasco	1,405.1	0.8	184.1	1.4	2.5	2.0	1.8	-0.2	1.4
Tamaulipas	2,439.2	1.3	131.9	1.0	3.5	2.9	-0.3	0.1	1.3
Tlaxcala	1,110.9	0.6	66.0	0.5	1.3	1.1	-1.3	-1.0	1.9
Veracruz	1,186.5	0.6	85.9	0.7	8.4	6.8	-0.3	0.0	0.9
Yucatán	1,636.4	0.9	108.2	0.8	2.2	1.8	1.5	1.0	1.9
Zacatecas	1,488.8	0.8	87.8	0.7	1.6	1.3	1.1	1.2	1.1
Total	1,846.2	1.0	128.8	1.0	123.6	100.0	0.1	0.2	1.5

Fuente: Elaboración propia con base a la Secretaría de Energía y el INEGI.

4.2 Resultados de la prueba

En esta sección se presentan los resultados de las pruebas de clubes de convergencia para el consumo de energía per cápita en México. En primer lugar, se evalúa la prueba de convergencia relativa para la totalidad de las entidades federativas cuyos resultados se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Prueba de Convergencia Total en el Consumo de Energía Eléctrica Per Cápita en México (2002 – 2020)

<i>Variable</i>	$\hat{b}$	<i>error estándar</i>	<i>estadístico-t</i>
$\log(t)$	-0.8178	0.0139	-59.0181

Nota: Incluye 32 entidades federativas. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el cuadro 3, en virtud de que el estadístico de prueba resulto ser de $t_{\hat{b}} = -59.02 < 1.65$ se rechaza la hipótesis nula de convergencia para el panel completo. Por lo cual se procede al procedimiento de agrupamiento de clubes para determinar si existen clubes de convergencia. Los resultados de las pruebas de agrupamiento de clubes se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Prueba de Clubes de Convergencia en el Consumo de Energía Eléctrica Per Cápita en México (2002 – 2020)

<i>Club</i>	$\hat{b}$	<i>estadístico-t</i>	<i>Núm. de Entidades</i>	<i>Miembros del Club</i>
1	0.192	3.021	9	Baja California, Baja California Sur Coahuila, Colima, Chihuahua, Nuevo León, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora
2	0.403	5.302	4	Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí Tamaulipas
3	0.259	10.949	4	Campeche, Durango, Jalisco, Yucatán
4	0.537	8.242	7	Ciudad de México, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nayarit, Tabasco, Zacatecas
5	0.058	0.591	5	Guerrero, México, Puebla, Tlaxcala, Veracruz
6	-0.010	-0.864	2	Chiapas, Oaxaca
7	<i>No convergente</i>		1	Aguascalientes

Nota: Incluye 32 entidades federativas. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en el cuadro 4, los resultados de la prueba permiten identificar seis clubes de convergencia y un grupo divergente. El primer club identificado está conformado por el más numeroso de ellos, con nueve entidades entre las que se encuentran Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Colima, Chihuahua, Nuevo

León, Quintana Roo, Sinaloa y Sonora, las cuales, con excepción de Quintana Roo tienden a ubicarse en la región norte del país; ver figura 1.

El segundo club está conformado por cuatro entidades que son Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí y Tamaulipas. De igual forma el tercer club lo conforman Campeche, Durango, Jalisco y Yucatán.

En tanto que el cuarto club, lo conforman 7 entidades que son Ciudad de México, Hidalgo, Michoacán, Morelia, Nayarit, Tabasco y Zacatecas. El quinto club lo integran Guerrero, México, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Por último, el sexto club incluye dos de las entidades federativas con ingresos per cápita más bajos que son Chiapas y Oaxaca y por último se encuentra un grupo divergente con una sola entidad, Aguascalientes.

Figura 1. Clubes de Convergencia en el Consumo de Energía Eléctrica Per Cápita en México



Fuente: Elaboración propia con base a cuadro 4.
Análisis robusto de clubes de convergencia

El procedimiento de identificación y de agrupamiento de clubes de Phillips y Sul (2007) y (2009) en ocasiones tiende a sobreestimar el verdadero número de clubes. Por tal razón, se evalúa si la fusión de clubes con números adyacentes que formen clubes más grandes es factible de acuerdo con la prueba de Schnurbus, Haupt y Meier (2017). De acuerdo con Schnurbus *et al.* (2017), se realiza prueba de fusión de clubes de forma iterativa. Específicamente, consiste en efectuar la prueba $\log t$ en los clubes contiguos sucesivamente; si la prueba satisface la hipótesis de convergencia los clubes son fusionan para formar nuevos clubes.

Los resultados de la prueba se presentan en el cuadro 5. De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro 4 no es posible llevar a cabo la fusión de clubes a partir de los clubes identificados por el procedimiento de Phillips y Sul (2007) y (2009), lo cual permite inferir que dicho procedimiento de identificación de clubes es lo suficientemente robusto para el caso del consumo de energía eléctrica per cápita de las entidades federativas de México.

A grandes rasgos los resultados nos permiten inferir que la conformación de clubes se ve en buena medida influenciada por la vecindad o proximidad geográfica de las entidades federativas que la conforman, con algunas notables excepciones, de aquí la importancia del factor espacio en el estudio de la convergencia.

Cuadro 5. Prueba de fusión de Clubes de Convergencia en el Consumo de Energía Eléctrica Per Cápita en México (2002 – 2020)

<i>Grupo Inicial</i>	<i>Pruebas de fusión</i>						<i>Grupo Final</i>
Club 1 [9]	Club 1+2						[9]
	-0.316						
	-10.957						
Club 2 [4]		Club 2+3					[4]
		-0.329					
		-9.568					
Club 3 [4]			Club 3+4				[4]
			-0.358				
			-8.868				
Club 4 [7]				Club 4+5			[7]
				-0.495			
				-15.716			
Club 5 [5]					Club 5+6		[5]
					-0.124		
					-1.949		
Club 6 [2]						Club 6+G7	[2]
						-0.696	
						-32.194	

Nota: Incluye 32 entidades federativas. Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

La literatura sobre el estudio de la convergencia del consumo de energía per cápita ha establecido la necesidad de analizar el tema y proveer pruebas a nivel subnacional. La principal razón es que el centrarse en el consumo de energía a nivel nacional oculta las diferencias entre regiones y sectores, Ivanovski, Churchill y Smyth (2018).

En este trabajo analizamos la convergencia en el consumo de energía per cápita en México a nivel de entidades federativas en el periodo que va de 2002 a 2020. Con tal fin aplicamos la metodología de Phillips y Sul (2007) y (2009). Una de las principales ventajas de esta metodología es que permite detectar múltiples equilibrios posibles asociados a grupos de regiones que siguen diferentes trayectorias de convergencia. Otra de las ventajas de la metodología de Phillips y Sul (2007) es que se basa en un modelo general no lineal de factores variables en el tiempo para evaluar la convergencia a nivel de clubes que pasan de posiciones de desequilibrio a posiciones de estado estacionario específicas de cada club.

A grandes rasgos los resultados muestran múltiples equilibrios o estados estacionarios en el consumo de energía eléctrica per cápita en México a nivel de entidades federativas en el periodo de 2002 a 2020.

La identificación de clubes en el consumo de energía eléctrica per cápita a nivel de entidades es importante porque sugiere patrones de consumo energético similares de acuerdo con su población y desarrollo económico similar. La conformación de clubes sugiere también que las diferencias en el consumo de energía per cápita entre los estados y territorios reflejan la dotación de recursos de cada región, la orientación geográfica y la política económica de cada entidad, así como la transición a las fuentes de energía renovables, Ivanovski, Churchill y Smyth (2018).

Nuestros resultados, sin embargo, sugieren que una vez que se permiten múltiples equilibrios las implicaciones políticas que surgen en materia energética pueden ser más complejas.

Los resultados de la convergencia en clubes ponen de relieve la necesidad de adaptar las políticas diseñadas para reducir el consumo de energía a las trayectorias de convergencia del consumo exclusivas de grupos de entidades. En términos más generales, el reconocimiento de las diferencias en los patrones de convergencia entre las entidades es importante para el diseño y la aplicación de políticas para reducir el consumo de energía. Por lo que es importante que los responsables de formular e implementar las políticas tengan en cuenta las diferencias en las estructuras económicas entre las regiones y el efecto que dichas políticas pueden tener en las diferentes entidades.

Referencias

- Aldy, J.E. (2006). Per capita carbon dioxide emissions: convergence or divergence? *Environ. Resour. Econ.* 33 (4), 533–555.
- Anoruo, E., Dipietro, W.R. (2014). Convergence in per capita energy consumption among African countries: evidence from sequential panel selection method. *Int. J. Energy Econ. Policy* 4 (4), 568.

- Rodríguez,D.,Mendoza,M.A.,Gómez,M.(2022).Clubes Energía México. Region. & Sector.Econ.Stud. 22-2
- Barro, Robert J., Sala-i-Martin, X. (1992). Convergence. *J. Polit. Econ.* 100 (2), 223–251.
- Bhattacharya, M. , Inekwe, J.N. , Sadorsky, P. , Saha, A. (2018). Convergence of energy productivity across Indian states and territories. *Energy Econ.* 74, 427–440 .
- Bhattacharya, M. , Inekwe, J.N. , Sadorsky, P. (2020). Convergence of energy productivity in Australian states and territories: determinants and forecasts. *Energy Econ.* 85, 1–12 .
- Ben-David, D., 1993. Equalizing exchange: trade liberalization and income convergence. *Q. J. Econ.* 108 (3), 653–679.
- Borozan, D. (2017). Testing for convergence in electricity consumption across Croatian regions at the consumer’s sectoral level. *Energy Policy* 102, 145–153.
- Burnett, J.W. y Madariaga, J. (2016). The convergence of U.S. state-level energy intensity. *Energy Econ.* 62, 357–370.
- Bushnell, J., Ibarra-Yúnez, A., Pappas, N. (2019). Electricity transmission cost allocation and network efficiency: implications for Mexico’s liberalized power market. *Utilities Policy* 59, 100932.
- Cai, Y., Menegaki, A. (2019). Convergence of clean energy consumption – panel unit root test with sharp and smooth breaks. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26 (7), 18790–18803.
- Castellanos-Sosa FA, Cabral R, Mollick AV (2022). Energy reform and energy consumption convergence in Mexico: a spatial approach. *Struct Change Econ Dynam.*, 61:336e50
- Dehghan Shabani, Z. , Shahnazi, R. (2021). Energy intensity convergence in Iranian provinces: evidence from energy carriers’ consumption intensity. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28 (21), 26697–26716 .
- Hao, Y. , Peng, H. (2017). On the convergence in China’s provincial per capita energy consumption: new evidence from a spatial econometric analysis. *Energy Econ.* 68, 31–43 .
- Ivanovski, K.; Churchill, S.A.; Smyth, R. (2018). A club convergence analysis of per capita energy consumption across Australian regions and sectors. *Energy Econ.*, 76, 519–531.
- Jiang, L. , Folmer, H. , Ji, M. , Zhou, P. (2018). Revisiting cross-province energy intensity convergence in China: a spatial panel analysis. *Energy Policy* 121 (May), 252–263 .
- Ezcurra, R. (2007a). Distribution dynamics of energy intensities: a cross-country analysis. *Energy Policy* 35 (10), 5254–5259.
- Ezcurra, R. (2007b). Is there cross-country convergence in carbon dioxide emissions? *Energy Policy* 35 (2), 1363–1372.
- Fallahi, F. (2017). Stochastic convergence in per capita energy use in world. *Energy Econ.* 65, 228–239.

- Rodríguez,D.,Mendoza,M.A.,Gómez,M.(2022).Clubes Energía México. Region. & Sector.Econ.Stud. 22-2
- Fallahi, F., Voia, M.-C. (2015). Convergence and persistence in per capita energy use among OECD countries: revisited using confidence intervals. *Energy Econ.* 52 (PA), 246–253.
- Herrerias, M. (2013). The environmental convergence hypothesis: carbon dioxide emissions according to the source of energy. *Energy Policy* 61, 1140–1150.
- Herrerias, M.J., Aller, C. y Ordóñez, J. (2017). Residential energy consumption: a convergence analysis across Chinese regions. *Energy Econ.* 62, 371–381.
- Le Pen, Y. y Sevi, B. (2010). On the non-convergence of energy intensities: evidence from a pair-wise econometric approach. *Ecol. Econ.* 69, 641–650.
- Le, T.-H., Chang, Y., Park, D. (2017). Energy demand convergence in APEC: an empirical analysis. *Energy Econ.* 65 (C), 32–41.
- Li, W. , Zhao, T. , Wang, Y. , Zheng, X. , Yang, J. , 2019. How does foreign direct invest- ment influence energy intensity convergence in China? Evidence from prefecture-level data. *J. Clean Prod.* 219, 57–65.
- Liddle, B. (2009). Electricity intensity convergence in IEA/OECD countries: aggregate and sectoral analysis. *Energy Policy* 37, 1470–1478.
- Liddle, B. (2010). Revisiting world energy intensity convergence for regional differences. *Appl. Energy* 87 (10), 3218–3225.
- Liu, T.-Y. y Lee, C.C. (2020). Convergence of the world's energy use. *Resour. Energy Econ.* 62, 1–21.
- Massa, R. y Rosellón, J. (2020). Linear and nonlinear Granger causality between electricity production and economic performance in Mexico. *Energy Policy* 142.
- Mendoza, Miguel Angel (2021). Modelo de Impacto Regional (MIR) en México con Censos de Población del INEGI
- Meng, M., Payne, J.E., Lee, J. (2013). Convergence in per capita energy use among OECD countries. *Energy Econ.* 36, 536–545.
- Mishra, V., Smyth, R. (2014). Convergence in energy consumption per capita among ASEAN countries. *Energy Policy* 73, 180–185.
- Mishra, V., Smyth, R. (2017). Conditional convergence in Australia's energy consumption at the sector level. *Energy Econ.* 62, 396–403.
- Mohammadi, H., Ram, R. (2012). Cross-country convergence in energy and electricity consumption, 1971–2007. *Energy Econ.* 34 (6), 1882–1887.
- Mohammadi, H. , Ram, R. (2017). Convergence in energy consumption per capita across the U.S. states, 1970–2013: an exploration through selected parametric and non-parametric methods. *Energy Economics* 62, 404–410.
- Panopoulou, E. y Pantelidis, T. (2009). Club convergence in carbon dioxide emissions. *Environ. Resour. Econ.* 44 (1), 47–70.
- Payne, J.E., Vizek, M., Lee, J. (2017a). Is there convergence in per capita renewable energy consumption across US States? Evidence from LM and RALS-LM unit root tests with breaks. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 70, 715–728.

- Rodríguez,D.,Mendoza,M.A.,Gómez,M.(2022).Clubes Energía México. Region. & Sector.Econ.Stud. 22-2
- Payne, J.E., Vizek, M., Lee, J. (2017b). Stochastic convergence in per capita fossil fuel consumption in US states. *Energy Econ.* 62, 382–395.
- Phillips, P. C., y D. Sul. (2007). Transition modeling and econometric convergence tests. *Econometrica*, 75(6), 1771–1855.
- Phillips, P. C., & Sul, D. (2009). Economic transition and growth. *Journal of Applied Econometrics*, 24(7), 1153–1185.
- Quah, D.T. (1996). Empirics for economic growth and convergence. *Eur. Econ. Rev.* 40 (6), 1353–1375.
- Romero-Ávila, D. (2008). Convergence in carbon dioxide emissions among industrialised countries revisited. *Energy Econ.* 30 (5), 2265–2282.
- Romero-Ávila, Diego y Omay, Tolga (2022). Convergence of per capita energy consumption around the world: New evidence from nonlinear panel unit root tests. *Energy Economics*, Volume 111, July, Artículo 106062
- Slaughter, M.J. (1997). Per capita income convergence and the role of international trade. *Am. Econ. Rev.* 87 (2), 194–199.
- Smyth, R., Narayan, P.K. (2015). Applied econometrics and implications for energy economics research. *Energy Econ.* 50, 351–358.
- Solarin, S.A., Gil-Alana, L.A. y Al-Mulali, U. (2018). Stochastic convergence of renewable energy consumption in OECD countries: a fractional integration approach. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25(18): 17829–17299,
- Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Q. J. Econ.* 70 (1), 65–94.
- Solow, R.M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *Rev. Econ. Stat.* 39 (3), 312–320.
- Schnurbus, J., H. Haupt y V. Meier (2017). Economic transition and growth: A replication. *Journal of Applied Econometrics* 32: 1039–1042.
- Strazicich, M.C., List, J.A. (2003). Are CO2 emission levels converging among industrial countries? *Environ. Resour. Econ.* 24 (3), 263–271.
- Tinoco Zermeno, M. Á., & Torres Preciado, V. H. (2021). Consumo de energía y emisiones de CO2 en América del Norte. *Portes: Revista Mexicana de Estudios Sobre la Cuenca del Pacífico*, 15(30).
- Van, Nguyen (2005). Distribution dynamics of CO2 emissions. *Environ. Resour. Econ.* 32 (4), 495–508.
- Westerlund, J., Basher, S.A. (2008). Testing for convergence in carbon dioxide emissions using a century of panel data. *Environ. Resour. Econ.* 40 (1), 109–120.
- Zhang, D., Broadstock, D.C. (2016). Club convergence in the energy intensity of China. *Energy J.* 37 (3), 137–158.