



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA

FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Consumo de electricidad y crecimiento económico en México

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

Maestra en Economía

PRESENTA:

Shadanna Ortega Hernández

TUTOR:

Dr. Gustavo Vargas Sánchez

Facultad de Economía, UNAM

MIEMBROS DEL JURADO:

Dra. Isalia Nava Bolaños

Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM

Dr. Luis Gómez Oliver

Facultad de Economía, UNAM

Dr. Miguel Ángel Mendoza González

Facultad de Economía, UNAM

Mtro. Uberto Salgado Nieto

Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi familia
A bombón

Agradecimientos

A mi madre por dotarme de amor y darme la fortaleza necesaria para desarrollarme día con día de una manera integral.

A mi abuelo por ser mi gran maestro de vida y proporcionarme las herramientas suficientes para seguir adelante.

Al Dr. Gustavo Vargas por su apoyo a lo largo de la investigación y por compartir sus conocimientos para lograr este trabajo en el marco del proyecto PAPIIT IN310819.

A los miembros del jurado por enriquecer este trabajo de investigación y proporcionarme su apoyo para finalizar este proyecto.

A CONACYT por brindarme la oportunidad de continuar con mi desarrollo profesional.

A mis hermanas por su apoyo incondicional y con su sentido del humor recargarme de energía para poder culminar este proyecto.

A mis amigos por su ayuda a lo largo de este proyecto.

A Dios por acompañarme en cada momento de mi vida.

Resumen

En México, en el 2018, se cuenta con 130 millones de habitantes que demandan electricidad. Donde, la energía eléctrica es un insumo necesario para la realización de actividades productivas, de transformación y servicios en el país. Por lo que, la electricidad es un recurso esencial para la forma de vida de los mexicanos. De ahí, surgen las interrogantes ¿existe relación entre la energía eléctrica y el crecimiento económico en México? O ¿el consumo de electricidad tiene un impacto positivo en la economía mexicana?

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo examinar la relación entre el consumo de electricidad y crecimiento económico en México. Por lo cual, se propone la hipótesis de una relación, de largo plazo, entre la energía eléctrica y el crecimiento económico, donde, el consumo de electricidad causa crecimiento económico. Para ello, se elaboró un análisis econométrico con datos panel para el periodo de 2003-2018, utilizando al consumo de electricidad por entidad federativa y el PIB estatal como medida del crecimiento económico por estado de la república. La metodología versa en: analizar el orden de integración de las series; evaluar si cointegran las variables; estimar el mecanismo corrector de error, y finaliza, con la prueba de causalidad de las variables.

Los resultados indican que la hipótesis de trabajo, aunque se cumple es superada, pues no solo el consumo de electricidad causa crecimiento económico, además, el crecimiento económico afecta el consumo de energía eléctrica. Es decir, el consumo de electricidad y el crecimiento económico pueden complementarse entre sí. Por lo tanto, este resultado coadyuvará en el diseño e implementación de políticas energéticas.

Índice

Resumen.....	4
Introducción.....	6
Marco de Referencia.....	8
Metodología.....	19
Hechos estilizados.....	22
Resultados empíricos.....	28
Conclusiones.....	35
Referencias.....	37

Introducción

Conforme a la segunda ley de la termodinámica¹ es necesaria una cantidad mínima de energía para proceder a la transformación de la materia, en general, trabajo físico. Además, toda producción requiere trabajo. En consecuencia, todos los procesos económicos requieren energía (Stern, 2011). En ese sentido, la energía eléctrica es una pieza fundamental dentro del engranaje de las economías modernas.

En México, durante el 2018, se contó con 43.4 millones de usuarios de energía eléctrica, que representan aproximadamente a 130 millones de habitantes, cubriendo el 98.58 por ciento de la población nacional que demanda este servicio. Donde, la energía eléctrica es un insumo necesario para la realización de actividades productivas, de transformación y servicios en el país. Por lo que, la electricidad es un recurso esencial para la forma de vida de los mexicanos. De ahí, surgen las interrogantes ¿existe relación entre la energía eléctrica y el crecimiento económico en México? O ¿el consumo de electricidad tiene un impacto positivo en la economía mexicana?

Ahora bien, el crecimiento económico mexicano ha sido precario desde la década de los ochenta hasta hoy en día. Por ello, estudiar si el crecimiento económico tiene prioridad sobre el consumo de electricidad o si el consumo de electricidad por sí mismo es un incentivo para el crecimiento económico coadyuvará en proporcionar información sobre que puede o no generar crecimiento en el país, pues diminutas diferencias en la tasa de crecimiento, sostenidas en el largo plazo, provocan niveles de ingreso per cápita muy diferentes (Sala-i-Martin, 2000).

Dentro de la literatura aún no existe un consenso sobre los resultados de la relación entre el consumo de electricidad y crecimiento económico. Por ejemplo, en México, Gómez y Rodríguez (2015) encuentran una relación unidireccional que va del crecimiento económico al consumo de electricidad, mientras que Zamarripa (2016) no encuentra relación de causalidad. No obstante, en relación con este debate la hipótesis de este trabajo es que existe una relación, de largo plazo, de causalidad unidireccional que va del consumo de energía eléctrica al crecimiento económico. Lo anterior, pues desde la valuación económica de la función de producción con una perspectiva ecológica, el incremento del uso de energía es la principal causa del crecimiento económico (Stern, 2011).

¹ “Parte de la física en que se estudian las relaciones entre el calor y las restantes formas de energía” (RAE, 2020)

Bajo este tenor, el presente trabajo tiene como objetivo examinar la relación entre el consumo de electricidad y crecimiento económico en México. Por lo cual, se utilizará un enfoque macroeconómico con algunas inferencias territoriales, como es el supuesto de heterogeneidad entre los estados en la relación crecimiento y energía, ya que se supone cada región tiende al equilibrio de largo plazo de diferente forma, aunque sin perder de vista la convergencia al promedio nacional. Lo anterior, para darle un sentido más realista del México en el que vivimos. Para ello, se realizará un análisis econométrico innovador con el uso de datos panel para el periodo de 2003-2018, utilizando el consumo de electricidad por entidad federativa y el PIB estatal como medida del crecimiento económico por estado de la república. Donde, la metodología será: revisar la estacionalidad de las series a través de pruebas de raíces unitarias; seguido de, evaluar la relación a largo plazo con pruebas de cointegración; para después, estimar el mecanismo corrector de error, y finalizar, con la determinación de causalidad de las variables a través de una prueba de causalidad.

Dicho lo anterior, la estructura del trabajo es la siguiente: primero, se presentará un marco de referencia donde se hará una revisión de la literatura sobre el nexo entre el consumo de la energía eléctrica y el crecimiento económico; posteriormente, se detallará la metodología la cual incluye una narración de los datos, así como una descripción del modelo econométrico; seguido de los hechos estilizados, donde se describe el comportamiento de las variables; ulteriormente, se mostrarán los resultados obtenidos en los que hay una relación, de largo plazo, bidireccional entre el consumo de electricidad y crecimiento económico, lo cual es interesante pues no solo el consumo de electricidad modifica el crecimiento económico sino el crecimiento económico también afecta el consumo de electricidad, y finalmente se expondrán las conclusiones generales del trabajo de investigación.

Marco de Referencia

El rol que desempeña la energía en el crecimiento económico ha sido un tema controvertido en la literatura económica (Herrerías *et al.*, 2013). En particular, este trabajo versa sobre la postura de la economía ecológica, la cual postula un papel central para la energía (*i.e.* la energía es un factor primario de la producción²) en el impulso del crecimiento económico desde los fundamentos físicos, ya que la termodinámica implica que la energía es esencial para toda la producción económica (Stern, 2011). Por lo cual, varios investigadores como Stern (2000), Soytaş y Sari (2003), Karanfil (2008), Shahbaz *et al.* (2011) u Osman *et al.* (2016) se interesan por estudiar la importancia del consumo de energía en la actividad económica. En este sentido, este apartado hará una revisión de la literatura sobre el nexo entre el consumo de la energía eléctrica y el crecimiento económico. Para ello, en la primera sección: se analizarán de forma cronológica algunos de los primeros estudios sobre el consumo de energía y crecimiento económico; posteriormente, se narrarán las hipótesis de la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico, y consecutivamente, se estudiará el panorama mexicano. En la segunda sección, se detallará la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico: primero, se abordará la importancia de este nexo, y segundo, se describirá el caso para México. Finalmente, la revisión de literatura culmina con unas conclusiones.

1. Consumo de energía y crecimiento económico

Kraft y Kraft (1978) son los pioneros en estudiar la relación causal entre el consumo de energía y el crecimiento económico, sus resultados indicaron una relación de causalidad que va del crecimiento económico al consumo de energía. Después de este artículo surge el debate, ya que autores como Akarca y Long (1980) consideraban los resultados de Kraft y Kraft (1978) como espurios, ya que no se había considerado la estabilidad del modelo. Por lo cual, Akarca y Long (1980) determinan que la relación de causalidad no está definida, es decir, no hay relación de causalidad entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

Posteriormente, Stern (1993) hace hincapié en la rigurosidad matemática, por lo que, el autor utiliza la técnica de vectores autorregresivos (VAR). Él señala que utilizar la técnica VAR es un avance en la metodología para estudiar el nexo entre el consumo de energía y el crecimiento

² Los factores primarios de producción se definen como insumos que existen al comienzo del período considerado y no se utilizan directamente en la producción (aunque pueden degradarse o acumularse de un período a otro) (Stern, 2011).

económico. Asimismo, concluye que existe una relación de causalidad que va del consumo de energía al crecimiento económico, es decir, lo opuesto a lo encontrado por Kraft y Kraft (1978).

En este contexto, Masih y Masih (1997) deciden utilizar el método de cointegración y corrección de error para hacer más robusta su estimación. Entonces, concluyen que existe una relación bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Asimismo, bajo la metodología de cointegración y corrección de error, Asafu-Adjaye (2000) encuentra datos interesantes para cuatro países asiáticos. Para la India e Indonesia encuentra una causalidad unidireccional que va del consumo de energía al crecimiento económico, mientras que para Tailandia y Filipinas hay una relación bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

Además, la tabla 1 puede mostrar parte de las discrepancias, porque para un mismo país (EUA) con el uso de diferentes metodologías y periodos de tiempo diversos los resultados cambian. Es decir, Stern (2000) encuentra una relación unidireccional que va del consumo de energía al crecimiento económico, mientras que Payne (2009) no encuentra relación de causalidad entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

Tabla 1

Estudios para un país de la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico

Autor	VARIABLES analizadas	Período estudiado	Países analizados	Metodología	Resultados
Kraft & Kraft (1978)	Producto Nacional Bruto (PNB) y los insumos de energía bruta (IEB)	1947-1974	EUA	Causalidad de Sims	Relación unidireccional del crecimiento económico al consumo de energía.
Akarca y Long (1980)	PNB e IEB	1950-1970	EUA	Causalidad de Sims	No encontraron una relación de causalidad entre las variables.
Stern (1993)	Insumos de energía, insumos de capital, insumos laborales y PIB	1947-1990	EUA	Vectores autorregresivos (VAR)	Relación de causalidad que va del consumo de energía al crecimiento económico.
Stern (2000)	PIB, energía ponderada de calidad, trabajo y capital	1948-1994	EUA	VAR Cointegración	Los análisis de cointegración dinámico y estático indican que la energía es trascendental para explicar al PIB.
Ghosh (2002)	Consumo de electricidad per cápita y el PIB per cápita	1950-1997	India	Causalidad de Granger Cointegración VAR	Causalidad unidireccional que va del crecimiento económico al consumo de electricidad.
Karanfil (2008)	Economía no registrada (PIB real), economía registrada (PIB real oficial) y consumo total de energía (petróleo)	1970-2005	Turquía	Cointegración Corrección de error VAR	Causalidad que va del PIB al consumo de energía. Sin embargo, si se incluye la economía no registrada no hay causalidad entre las variables.
Payne (2009)	Energía renovable, energía no renovable, PIB, forma bruta real de capital fijo y el empleo civil total	1949-2006	EUA	Toda-Yamamoto	Existe una ausencia de causalidad entre el consumo de energía renovable y no renovable y el PIB.

Fuente: elaboración propia

1.1. Hipótesis de la relación consumo de energía y crecimiento económico

En la literatura revisada, las posibles relaciones positivas entre el consumo de la energía y el crecimiento económico se agrupan mediante cuatro hipótesis: hipótesis de crecimiento, hipótesis de conservación, hipótesis de retroalimentación e hipótesis de neutralidad.

La hipótesis de crecimiento se refiere a una causalidad unidireccional que va desde el consumo de energía hasta el crecimiento económico. En este caso, Ozturk (2010) señala que el consumo de energía tiene un rol trascendental en el crecimiento económico, de manera directa e indirecta, en el proceso de producción como complemento del trabajo y el capital. Dicho de otro modo, las restricciones en el uso de la energía pueden afectar negativamente el crecimiento económico, mientras que el incremento en la energía puede contribuir al crecimiento económico.

La hipótesis de conservación indica una relación de causalidad unidireccional que va desde el crecimiento económico hasta el consumo de energía. Donde, el crecimiento económico depende relativamente menos de la energía (Squalli, 2007). De este modo, Squalli (2007) menciona que las políticas de conservación de energía diseñadas para reducir el consumo de energía no tendrán impacto negativo en el crecimiento económico.

La hipótesis de retroalimentación establece una causalidad bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Dicho de otra manera, existe una relación mutua entre consumo de energía y crecimiento económico. En consecuencia, Cho *et al.* (2015) indican que los cambios de las políticas de conservación de energía pueden modificar el crecimiento económico, de igual manera, los cambios en el crecimiento económico impactan en el consumo de la energía.

La hipótesis de neutralidad es aquella en la cual no existe causalidad entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Por ello, Apergis y Payne (2009a) resaltan que el consumo de energía es un componente pequeño de la producción general, por lo que, tiene poco o ningún impacto en el crecimiento económico.

En la tabla 2 se pueden observar algunos resultados dependiendo de cada hipótesis. Por ejemplo, Masih y Masih (1997) están a favor de una hipótesis de retroalimentación, considerando los países de Corea y Taiwán, ya que los resultados indican una relación bidireccional entre el

consumo de energía y el crecimiento económico. Entonces, para estos países, el consumo de energía y el crecimiento económico son complementarios. Por otro lado, Khan *et al.* (2007) apoyan la hipótesis de crecimiento, pues los resultados arrojan una causalidad unidireccional del consumo de energía al crecimiento económico, para Bangladesh, India, Pakistán y Sri Lanka. En este caso, estas economías son dependientes de la energía, por lo que cambios en el consumo de energía modificarán el crecimiento económico (Squalli, 2007).

Tabla 2
Estudios para varios países de la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico

Autor	VARIABLES analizadas	Período estudiado	Países analizados	Metodología	Resultados
Masih & Masih (1997)	Consumo de energía, los precios de la energía y el ingreso real	1961-1990	Corea y Taiwán	Cointegración Vector de corrección de error Causalidad de Granger	Existe una relación de causalidad bidireccional entre el consumo de la energía, los precios y el crecimiento económico.
Asafu-Adjaye (2000)	Ingresos, energía y precios	1971-1995	India, Indonesia, Filipinas y Tailandia	Cointegración Corrección de error	Causalidad del consumo de energía al ingreso para la India e Indonesia, mientras que para Tailandia y Filipinas hay una relación bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico.
Soytas y Sari (2003)	Consumo anual de energía, PIB per cápita	1950-1992	G-7 y países emergentes	Cointegración Vector de corrección de errores	Turquía, Francia, Alemania y Japón hay una relación del consumo de energía al crecimiento económico. Italia y Corea hay una causalidad del crecimiento económico al consumo de energía. Argentina hay una relación bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Para los países restantes no existe relación entre el consumo de la energía y el crecimiento económico.
Khan <i>et al.</i> (2007)	PIB real, la energía, el stock de capital y el trabajo	1972-2004	Bangladesh, India, Pakistán y Sri Lanka	Retardo distribuido autorregresivo	Causalidad del consumo de energía al PIB en todos los países analizados.
Cho <i>et al.</i> (2015)	PIB real, crecimiento real de capital fijo, fuerza laboral y consumo de electricidad renovable	1990-2010	Países desarrollados y en desarrollo	Vector panel de corrección de error	Para los países desarrollados relación del crecimiento económico al consumo de energía, mientras que para los países en desarrollo hay una relación bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

Fuente: elaboración propia

1.2. Consumo de energía y crecimiento económico: el panorama mexicano

En este apartado, se describirá el nexo entre el consumo de energía y el crecimiento económico en México. La literatura para el caso de México es reducida. No obstante, dentro de ella se encuentran Cheng (1997), Galindo y Sánchez (2005), Caballero y Galindo (2007), Marroquín y Ríos (2017), Gómez *et al.* (2018a) y Gómez *et al.* (2018b) (véase tabla 3).

Uno de los primeros análisis para el caso mexicano fue estudiado por Cheng (1997). El autor encuentra que no hay causalidad entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Es decir, los resultados indican una hipótesis de neutralidad para México.

Galindo y Sánchez (2005) realizan un estudio con las variables consumo nacional total de energía, PIB real, precio relativo de la energía (proporción entre el índice nacional de precios de la energía y el índice nacional de precios al consumidor) y personal ocupado remunerado. Los resultados del artículo indican que existe una hipótesis de retroalimentación. Por lo cual, el análisis concuerda que el consumo de energía y el crecimiento económico son procesos complementarios en la economía mexicana.

Gómez *et al.* (2018a) evalúan la causalidad lineal y no lineal entre el consumo de energía y el crecimiento económico, para ello estudian las variables PIB real, formación bruta de capital fijo, número de personas empleadas y el consumo de energía total y desagregado en sectores (industria, residencial y agrícola). El análisis no encuentra una causalidad no lineal entre el consumo de energía y el crecimiento económico, no obstante, existe una causalidad lineal. Los resultados hallan una hipótesis de crecimiento, también para el nivel desagregado. Por lo que, los tres sectores tienen incidencia en el crecimiento económico. También, Gómez *et al.* (2018b) analizan el nexo entre el consumo de energía, el crecimiento económico, el comercio, capital y trabajo, cuyos resultados concuerdan con una hipótesis de crecimiento en el largo plazo, sin embargo, en el corto plazo hay una hipótesis de retroalimentación.

La tabla 3 confirma que México no es la excepción a la divergencia de resultados, ya que a pesar de ser el mismo país e incluso periodos de tiempo similares como los de Galindo y Sánchez (2005) y Gómez *et al.* (2018a) los resultados varían. Es decir, Galindo y Sánchez (2005) apoyan la hipótesis de retroalimentación, mientras que Gómez *et al.* (2018a) apoyan la hipótesis de crecimiento.

Tabla 3

Estudios de la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico para México

Autor	VARIABLES analizadas	Período estudiado	Metodología	Resultados
Cheng (1997)	PIB real, consumo de energía y capital	1949-1993	Cointegración Método Hsiao	No hay causalidad entre el consumo de energía y el crecimiento económico.
Galindo y Sánchez (2005)	Consumo nacional total de energía, PIB real, precio relativo de la energía (proporción entre el índice nacional de precios de la energía y el índice nacional de precios al consumidor) y personal ocupado remunerado	1965-2001	Vector autorregresivo (VAR) Cointegración Vector de corrección de error (VECM) Causalidad Granger	Una fuerte relación bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico.
Caballero y Galindo (2007)	Consumo de energía, PIB real, formación bruta de capital fijo, el producto de Estados Unidos, el salario mínimo general promedio, tipo de cambio nominal, el agregado monetario M2 y precio relativo de la energía	1965-2004	VAR Cointegración	El consumo de energía afecta positivamente a la trayectoria del ingreso y negativamente al comportamiento de los precios relativos.
Marroquín y Ríos (2017)	Consumo de energía, precio de la energía y crecimiento económico	1993-2014	Cointegración Análisis impulso-respuesta	Los precios de la energía tienen un efecto negativo en el consumo de energía y el crecimiento económico.
Gómez <i>et al.</i> (2018a)	PIB real, formación bruta de capital fijo, número de personas empleadas, consumo de energía total y consumo de energía desagregada (por sector industrial, residencial y agrícola)	1965-2014	Prueba de límites de rezago distribuido autorregresivo (ARDL) Modelo de corrección de errores (ECM) Causalidad de Granger Toda-Yamamoto Causalidad no lineal de Granger	Los resultados indican una relación causal que va del consumo de energía al crecimiento económico. También hay una relación causal a nivel desagregado donde los tres sectores (industrial, residencial y agrícola) implican un crecimiento económico. Además, no hay evidencia de causalidad no lineal entre consumo total de energía y crecimiento económico.
Gómez <i>et al.</i> (2018b)	Producto neto de exportaciones, exportaciones reales, importaciones reales, formación bruta de capital fijo, consumo de energía y personas empleadas	1971-2013	ARDL Causalidad de Granger Vector de Corrección del Error (VCE) Toda-Yamamoto	En el largo plazo hay evidencia de causalidad del consumo de energía al crecimiento económico. En el corto plazo, hay una relación bidireccional entre el consumo de energía y crecimiento económico.

Fuente: elaboración propia

2. Relación entre el consumo de electricidad y crecimiento económico

Ahora, se revisará el nexo entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico, ya que la electricidad es un recurso necesario para la forma de vida de las personas en la actualidad, así como un bien básico para la realización de actividades productivas, de transformación y de servicios en la economía mundial. En otras palabras, la electricidad es la energía más moldeable que forma parte de las infraestructuras vitales en el desarrollo socioeconómico (Ghosh, 2002).

Yoo (2005) es consciente de la relevancia de la causalidad entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico, por ello tiene como objetivo obtener resultados robustos para generar inferencias y así desarrollar políticas adecuadas en la gestión de la electricidad. Por ejemplo, las naciones del sur de Asia tienen un acelerado crecimiento de la demanda de energía, lo cual ha producido un insuficiente suministro de energía, pues se enfrentan a un déficit de energía en forma de recurrentes, costosos y generalizados cortes de electricidad. Por lo que, mejorar el suministro de electricidad es prioridad de estos gobiernos (Khan *et al.*, 2007). En este sentido, tener políticas que optimicen el uso de la electricidad ayudaría a evitar los efectos nocivos de los cortes en la electricidad. Asimismo, para los países que dependen de la electricidad como única fuente de energía, es trascendental estudiar la relación entre el consumo de electricidad y crecimiento económico para la implementación de adecuadas políticas (Njindan, 2015).

En este contexto, Shahbaz *et al.* (2011) encuentran una diferencia en el corto y largo plazo, ya que los resultados arrojan una causalidad unidireccional para el corto plazo que va del crecimiento económico al consumo de electricidad, mientras que en el largo plazo hay una causalidad bidireccional entre las variables. Por lo que, la variación en los resultados implica que se deben establecer diferentes políticas en diferentes periodos de tiempo.

Jumbe (2004) hace una comparación de metodologías, causalidad de Granger y corrección de error, encontrando una diferencia sustancial, ya que para la economía de Malawi obtuvieron que hay una dependencia significativa entre el consumo de la electricidad y el crecimiento económico, pues la causalidad de Granger indico una causalidad bidireccional entre el consumo de electricidad y el PIB, mientras que por la técnica de corrección de error solo hay una causalidad unidireccional que va del PIB al consumo de energía. Entonces, para considerar alguno de estos resultados en alguna política se tendría que evaluar cuáles de estos resultados son más robustos y se adecuan mejor a la realidad.

La tabla 4 muestra que la metodología más popular para analizar la relación entre el consumo de la electricidad y el crecimiento económico es la causalidad de Granger. No obstante, a pesar de utilizar la misma metodología los resultados para cada país son diferentes. Por ejemplo, Yang (2000) encuentra una causalidad bidireccional entre consumo de electricidad y el crecimiento económico para Taiwán, en tanto que Narayan y Smyth (2005) encuentran una causalidad unidireccional que va del crecimiento económico al consumo de energía para Australia. Es decir, Taiwán tiene que examinar la complementariedad entre la energía eléctrica y el crecimiento

económico para sus políticas, mientras que Australia sabe que un incremento en el PIB real generará un aumento en la energía (Ozturk, 2010).

Entonces, el esforzarse por indagar en la relación causal entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico es de vital importancia para hacer más eficiente el uso de la electricidad a través de una buena política. Por ello, diversos autores se han tomado a la tarea de analizar dicha relación como Yang (2000), Yoo (2005), Shahbaz *et al.*, (2011) o Njindan (2015) (véase tabla 4).

Tabla 4
Estudios de la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico

Autor	VARIABLES analizadas	Período estudiado	Países analizados	Metodología	Resultados
Yang (2000)	Consumo total de energía, consumo de gas, consumo de petróleo, consumo de carbón, consumo de electricidad y PIB	1954-1997	Taiwán	Causalidad de Granger	Causalidad bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Asimismo, hay una causalidad bidireccional entre consumo de electricidad y el crecimiento económico.
Jumbe (2004)	Consumo de electricidad, PIB, PIB agrícola y PIB no agrícola	1970-1999	Malawi	Cointegración Corrección de error Causalidad de Granger	Causalidad unidireccional del PIB al consumo de electricidad con el método de corrección de error, mientras que una causalidad bidireccional bajo la técnica de Causalidad de Granger.
Narayan y Smyth (2005)	Consumo de electricidad per cápita, PIB real per cápita y empleo	1966-1990	Australia	Cointegración Causalidad de Granger Estabilidad de los parámetros	Causalidad que va del ingreso al consumo de electricidad.
Yoo (2005)	Consumo de electricidad y PIB real	1970-2002	Corea	Cointegración Corrección de error Causalidad de Granger Estabilidad de los parámetros	Causalidad del consumo de energía al crecimiento económico en el corto plazo. Causalidad bidireccional entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico.
Li <i>et al.</i> , (2011)	PIB y consumo de electricidad	1985-2008	China	Cointegración de panel Vector de corrección de error para panel	Causalidad bidireccional entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico.
Romano y Scandurra (2011)	PIB, inversión bruta fija, consumo de electricidad y tasa de empleo	1980 a 2007	Italia	Cointegración de panel Vector de corrección de error para panel (Estimador Método Generalizado de Momentos)	Causalidad bidireccional entre el crecimiento económico y el consumo de electricidad.
Shahbaz <i>et al.</i> , (2011)	PIB real per cápita, consumo de electricidad per cápita y empleo total	1971-2009	Portugal	Causalidad Granger Vector de corrección de error Corrección de error sin restricción	Causalidad unidireccional del crecimiento económico al consumo de electricidad en el corto plazo, mientras que en largo plazo hay una causalidad bidireccional entre las variables.
Shengfeng <i>et al.</i> , (2012)	PIB nominal (transformado a PIB real) y consumo de electricidad	1953-2009	China	Vector de corrección de errores Cointegración	Causalidad unidireccional que va del consumo de electricidad al crecimiento económico.
Polemis y Dagoumas (2013)	Consumo de electricidad residencial, empleo,	1970-2011	Grecia	Vector de corrección de errores Cointegración	Causalidad bidireccional del consumo de electricidad al crecimiento económico.

	precios de la electricidad residencial, precio de combustible ligero y temperatura				
Hamdi <i>et al.</i> , (2014)	Consumo de electricidad per cápita, PIB real per cápita, inversión extranjera directa y capital per cápita	1980-2010	Bahréin	Límites de retardo distribuido autorregresivo (ARDL) Vector de corrección de error-Granger Estabilidad de los parámetros	Relación de causalidad bidireccional entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico.
Njindan (2015)	Consumo de electricidad, crecimiento económico e inflación	1971-2011	Nigeria	Cointegración (lineal y no lineal) Causalidad de Granger Vector de corrección de error	Flujo causal que va desde el consumo de electricidad hasta el crecimiento económico.
Osman <i>et al.</i> , (2016)	Consumo de electricidad per cápita y PIB real per cápita	1975-2012	Países del Consejo de la Corporación del Golfo (CCG)	Cointegración de panel Panel VAR Granger	Relación de causalidad bidireccional entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico en estos países.

Fuente: elaboración propia

Una vez descrita la importancia de estudiar el nexo entre el consumo de electricidad y crecimiento económico, véase el caso para México. El sistema eléctrico de México se conforma por nueve regiones de control (central, oriental, occidental, noroeste, norte, noreste, Baja California, peninsular y Baja California Sur) y un diminuto sistema eléctrico (sistema Mulegé). Donde, la región de Baja California esta interconectada con la red eléctrica de la región oeste de EUA; la región Baja California Sur y el sistema Mulegé se encuentran eléctricamente aislados entre sí y con respecto a las demás regiones, y las 7 regiones restantes se encuentran interconectadas y forman el Sistema Interconectado Nacional (SIN) (SENER, 2019). Por otro lado, de manera muy general, las actividades económicas de México se podrían dividir de la siguiente forma: en el sur las actividades primarias; en el centro las actividades terciarias y en el norte las actividades secundarias. Por lo cual, se puede resaltar el fenómeno territorial en la relación consumo de electricidad y crecimiento económico mexicano. Aunque, en la literatura revisada, los estudios que se han hecho son de Narayan y Prasad (2008), Gómez y Rodríguez (2015) y Zamarripa (2016) (véase tabla 5).

Narayan y Prasad (2008) analizan la relación causal entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico para 30 países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), incluido México. El estudio realiza una prueba de causalidad *bootstrapped*, donde no existe ninguna relación de causalidad entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico para el caso mexicano.

Gómez y Rodríguez (2015) estudian la causalidad entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico, donde, destacan la importancia de la estabilidad de los parámetros por lo que realizan pruebas de cambio estructural. Los autores concluyen que existe una relación de causalidad que va del crecimiento económico al consumo de electricidad. Es decir, se apoya la hipótesis de conservación.

Zamarripa (2016) utiliza la técnica de vectores autorregresivos (VAR) para evaluar la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico, así como los precios de la energía (en particular, precios de la electricidad y precios de los petroquímicos) y el crecimiento económico. Los resultados apoyan la hipótesis de neutralidad entre consumo de electricidad y crecimiento económico en el largo plazo, mientras que en el corto plazo existe una relación de causalidad unidireccional que va del consumo de electricidad al crecimiento económico. Además, en el largo plazo, existe una relación positiva entre los precios de la energía y el crecimiento económico.

Si bien, los estudios para el país son escasos, aún se puede apreciar la disparidad entre ellos. En la tabla 5, se puede apreciar que ante periodos de tiempo diferentes y variación en la metodología los resultados son diversos, pues Gómez y Rodríguez (2015) apoyan la hipótesis de crecimiento. Sin embargo, Narayan y Prasad (2008) y Zamarripa (2016) están a favor de la hipótesis de neutralidad.

Tabla 5
Estudios de la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico para México

Autor	VARIABLES analizadas	Período estudiado	Metodología	Resultados
Narayan y Prasad (2008)	Consumo de electricidad y PIB	1971-2002	Prueba de causalidad <i>bootstrapped</i>	Sin relación causal entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico.
Gómez y Rodríguez (2015)	Consumo de electricidad per cápita y PIB per cápita	1971-2011	VAR estimado mediante el sistema SUR (regresiones aparentemente no relacionadas)	Relación de causalidad que va del crecimiento económico al consumo de electricidad.
Zamarripa (2016)	Consumo de electricidad, PIB, la formación bruta de capital fijo, la población ocupada, la tasa de rendimiento de los CETES y PIB de EUA.	1993-2014	VAR Cointegración Causalidad de Granger	En el corto plazo, existe una causalidad unidireccional que va del consumo de electricidad al crecimiento económico. En el largo plazo, no hay relación de causalidad entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico.

Fuente: elaboración propia

Así pues, haciendo una síntesis de los resultados, en general los autores (como Jumbe (2004), Narayan y Smyth (2005), Yoo (2005) o Galindo y Sánchez (2005)) han utilizado la metodología de cointegración y causalidad de Granger. La mayoría de los estudios han encontrado una fuerte correlación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico. Sin embargo, en términos de causalidad los resultados han sido mixtos o incluso contradictorios (Osman *et al.*, 2016).

Entonces, la variabilidad de resultados en esta área de estudio no es sorprendente, ya que se han encontrado resultados diferentes para diversos países, así como para diferentes períodos de tiempo dentro de un mismo país (Soytas y Sari, 2003). En particular, Masih y Masih (1997) mencionan que las diferencias metodológicas son las razones más trascendentales por las que varían los resultados, como es el caso de la selección de variables o algo más relevante el tipo de técnicas de causalidad, pruebas y estructuras de retraso empleadas. Por ejemplo, Shengfeng *et al.* (2012) señalan que se debe enfatizar en considerar el uso adecuado de la causalidad de Granger, ya que es sensible a cambios menores en la estructura del modelo.

En suma, se puede observar que para el país persiste la importancia de la energía eléctrica en el sistema económico, ya que la electricidad es una forma de energía fácil de transformarse a otra forma de energía convirtiéndose indispensable en el día a día de los mexicanos. Motivo por el cual, a pesar de que dentro de la literatura aún existe la diversidad en resultados; actualizar la noción de causalidad entre la energía eléctrica y la actividad económica para México, mediante la contribución innovadora del uso de datos panel, podrá definir cuál es la relación actual entre el consumo de electricidad y crecimiento económico mexicano. Donde, se podrán hacer algunas inferencias a nivel territorial de cuál es el impacto del consumo de electricidad en el crecimiento económico. Lo anterior, para encontrar el diseño apropiado e implementación de políticas más eficientes.

Metodología

El presente trabajo tiene como objetivo examinar la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico para México. Por lo que, se utilizará un enfoque macroeconómico con algunas inferencias territoriales, para darle un sentido más realista al México en el que vivimos. Entonces, la estrategia empírica a realizar será mediante un análisis de datos panel, pues la unidad de panel proporciona información adicional al combinar datos de series transversales y series de tiempo, además se permite la heterogeneidad a través de los estados (Harris y Tzavalis, 1999). Asimismo, las pruebas que se realizarán en este estudio tendrán más potencia al aumentar el rendimiento de la muestra finita (Acaravci y Ozturk, 2010). También, utilizar un mayor número de datos permite ofrecer más variabilidad y menos colinealidad entre las variables. Donde, uno obtiene estimaciones más confiables en análisis empíricos (Osman *et al.*, 2016). Para ello, la estructura de esta sección será: primero, una descripción de los datos, y posteriormente, se detallará el modelo econométrico.

i. Datos

La base de datos utilizada para este estudio será anual para el periodo de 2003-2018. El consumo de electricidad (E), medido en gigawatts-hora, se obtuvo del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía. El ingreso (Y) es el Producto Interno Bruto (PIB) (en millones de pesos medidos a precios de 2013) obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Lo anterior, para estimar un modelo de datos panel conformado por los treinta y dos estados de la república mexicana (Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Campeche, Coahuila, Colima, Chiapas, Chihuahua, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán y Zacatecas). Ahora, para homogenizar las unidades de media y disminuir la heterocedasticidad, se utilizó la transformación logarítmica para todas las variables, por lo que, las letras minúsculas denotan el logaritmo natural de las variables (e y y). Otro aspecto relevante es el periodo de análisis, el cual se determinó con base en la información más reciente, así como las series más consistentes para todos los estados de la república mexicana.

ii. Modelo Econométrico

El presente trabajo utilizará un modelo econométrico de datos panel que emplea variables no estacionarias y que están cointegradas. Por lo que, antes de realizar estimaciones para modelos de tipo de datos panel se requiere determinar el orden de integración de las series de tiempo que conforman el modelo, para saber si las variables son o no estacionarias (Barreto y Campo, 2012).

Una serie estacionaria, en el largo plazo, fluctúa alrededor de una media con una varianza finita y una autocorrelación que disminuye rápidamente a medida que aumenta el rezago. Dicha serie será nombrada $I(0)$ denotando integrando de orden cero. Sin embargo, algunas series requieren ser diferenciadas para lograr estas propiedades, por lo que, si una serie necesita ser diferenciada d veces para convertirse en $I(0)$ se llama integrando de orden d denotado $x_t \sim I(d)$ (Granger, 1986).

Una prueba para determinar si una serie es estacionaria es probando la existencia de raíces unitarias. Para ello existen diversas pruebas estadísticas para datos panel, para ilustrar: la prueba de Harris–Tzavalis (1999) o la prueba de Im, Pesaran y Shin (2003), las cuales serán aplicadas en este estudio. Por ejemplo, Im, Pesaran y Shin (2003) permiten heterogeneidad dinámica de los coeficientes autorregresivos para todo el panel. Por lo cual, las raíces de forma individual son probadas para cada miembro del panel.

Ahora, para modelos de datos panel existen pruebas de cointegración que indican si hay o no relaciones de equilibrio a largo plazo entre las variables. En este trabajo se utilizarán las pruebas propuestas por Pedroni (1999) basadas en la agrupación *within* y *between* de dimensiones. En este sentido, se permite heterogeneidad en el panel, donde lo que se va a probar es la hipótesis nula de no cointegración. Por lo cual, para examinar el vínculo entre variables se basará en la siguiente ecuación:

$$y_{it} = \alpha_i + \delta_i t + \beta_{1i} x_{1it} + \dots + \beta_{ki} x_{kit} + \varepsilon_t$$

donde hay k regresores que pueden ser endógenos; α_i es la intersección específica del estado, $\delta_i t$ es una tendencia temporal determinista específica para cada estado en el panel, β_{ki} son las pendientes de los coeficientes que pueden variar de una entidad federativa a otra permitiendo que los vectores cointegrantes sean heterogéneos a través de los estados (Ciarreta y Zagarra,

2010). Además, si ε_t es estacionario, entonces la variable dependiente cointegra con las variables explicativas, bajo el supuesto que las series tengan raíz unitaria (Herrerias *et al.*, 2013).

Posteriormente, para establecer las relaciones de larga duración y de corta duración entre las variables se analizará: el estimador de media grupal (MG) sugerido por Pesaran y Smith (1995) y el estimador agrupado de media individual (PMG) sugerido por Pesaran *et al.* (1999). Mediante la siguiente especificación de panel:

$$y_{i,t} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta'_{ij} X_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

donde X_{it} es un vector $k * 1$ de variables explicativas, δ_{it} es un vector $k * 1$ de coeficientes, λ_{ij} son escalares AR(j) y μ_i es el efecto específico individual. Por último, se realizará la prueba de Hausman (1978) para determinar el modelo más apropiado.

Finalmente, para determinar la relación que existe entre las series se evalúa su causalidad mediante la prueba de causalidad de un panel de datos. Es decir, la prueba Dumitrescu-Hurlin (2012), una prueba de no causalidad en modelos de datos de panel heterogéneos. Por lo cual, sea x y “ y ”, dos variables estacionarias observadas para N individuos en períodos T , para cada individuo $i = 1, \dots, N$, en el momento $t = 1, \dots, T$, sea el siguiente modelo:

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{i=1}^p \delta_i^{(p)} y_{i,t-p} + \sum_{i=1}^p \beta_i^{(p)} x_{i,t-p} + \varepsilon_{i,t}$$

por simplicidad, se supone que los efectos individuales α_i se fijan en la dimensión de tiempo, entonces se puede usar para probar si x causa y .

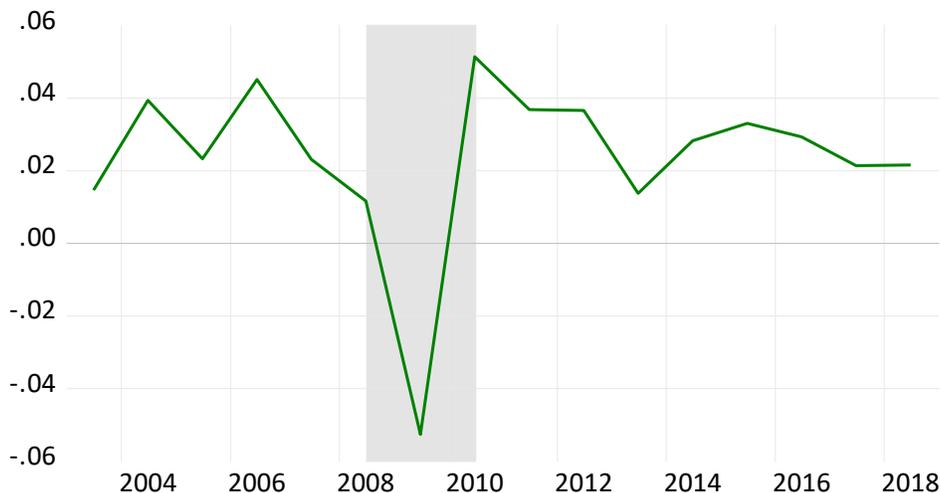
Hechos estilizados

El contenido de la presente sección versa sobre el análisis de las tendencias de largo plazo del consumo de electricidad y el PIB, para el periodo de 2003 a 2018. Para ello, la estructura es la siguiente: primero, una descripción de las tasas de crecimiento; posteriormente, la tendencia de las variables; seguido de, un diagrama de dispersión nacional y un cuadro de correlación nacional; para continuar con diagramas de dispersión estatales, y culminar con unos comentarios finales.

El crecimiento económico mexicano ha sido muy lento desde la década de los ochenta, donde existen diversas causas para dar explicación al respecto. Para ilustrar, en México, el crecimiento económico se ha mermado por la corrupción, la inseguridad, la variabilidad de los precios internacionales del petróleo o la volatilidad del tipo de cambio (Ruíz, 2018).

El limitado crecimiento de la economía mexicana se puede comprobar en la baja tasa de crecimiento anual del producto, la cual es en promedio 2.3% en el periodo 2003-2018. Por lo cual, la gráfica 1 indica la tasa de crecimiento del producto de manera anual, la cual tiene una severa caída en 2009 por la crisis de 2008, ya que por medio de la demanda afectó en gran medida la actividad comercial y productiva, lo anterior debido a la gran vinculación comercial con Estados Unidos, país en el que inició la crisis y que posteriormente se expandió a Europa y al resto del mundo. Asimismo, México enfrentó a partir de marzo de 2009, la crisis epidemiológica ocasionada por la influenza A-H1N1 lo cual redujo el turismo agudizando la crisis económica en el país (Ruíz, 2018).

Gráfica 1: Tasa de crecimiento del producto de México, 2003-2018

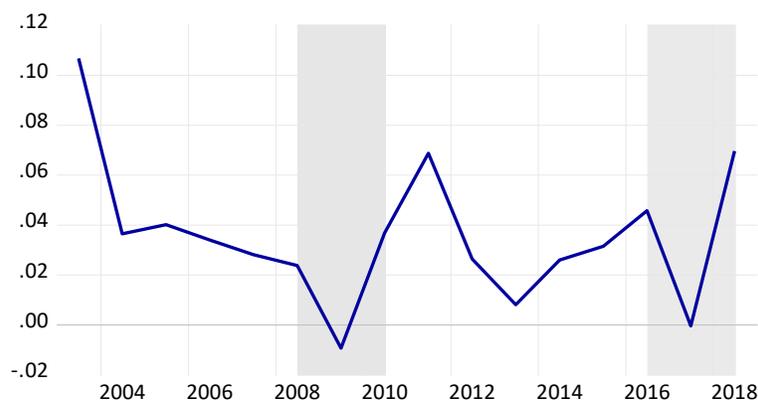


Fuente: elaboración propia con datos de INEGI

Además, en la gráfica 1 se ve una caída no preocupante pero que refleja el poco crecimiento en México en 2013 debido a la pérdida de dinamismo en el comercio internacional, causando estragos en la actividad industrial mundial ocasionando precios bajos en las materias primas. Por otro lado, referente a la demanda interna, existió menor dinamismo del gasto público y en el sector de la construcción hubo un desempeño desfavorable.

En la gráfica 2 se puede observar la tasa de crecimiento de la electricidad en México donde dada la crisis mundial se ve una caída en el consumo de electricidad. También, hubo una desaceleración en el crecimiento en 2013 debido al desabasto de gas natural, lo cual tuvo un efecto importante en los niveles de producción de la industria manufacturera. De igual manera, pese a los acontecimientos temporales de 2017, como fueron la entrada en vigor de Donald Trump a la presidencia de Estados Unidos, los sismos ocurridos en septiembre y la disminución de la producción petrolera dieron lugar a una disminución ínfima del consumo de electricidad.

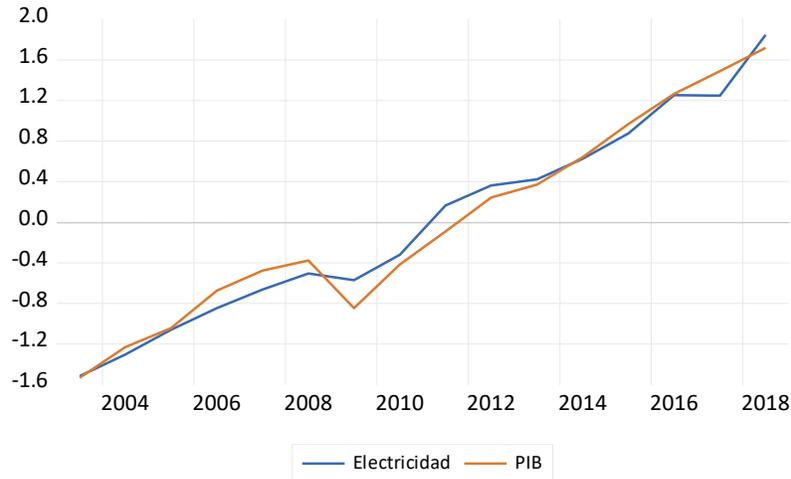
Gráfica 2: Tasa de crecimiento de la electricidad de México, 2003-2018



Fuente: elaboración propia con datos de SIE

La gráfica 3 muestra que el comportamiento del consumo de electricidad (E) y el PIB (Y) siguen la misma tendencia, asimismo se puede observar que el comportamiento de las variables es en promedio estable. Además, se puede ver que la crisis económica mundial de 2008 afectó en mayor proporción al PIB que al consumo de electricidad, mientras que los factores temporales descritos con anterioridad del 2017 afectaron mayormente al consumo de electricidad que al PIB.

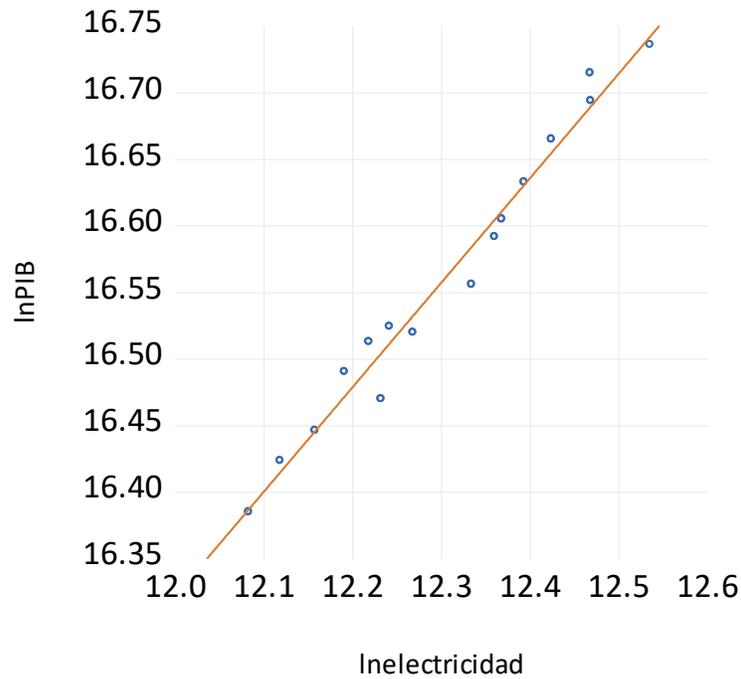
Gráfica 3: Consumo de electricidad y PIB de México, 2003-2018
(Variables normalizadas)



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI y SIE

La gráfica 4 y el cuadro 1 permiten corroborar una relación positiva entre el consumo de electricidad y el PIB, por lo cual se podría apreciar que la hipótesis de trabajo hasta este punto es posible, aunque aún queda pendiente corroborar con los aspectos econométricos.

Gráfica 4: Diagrama de dispersión del consumo de electricidad vs el PIB de México, 2003-2018



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI y SIE

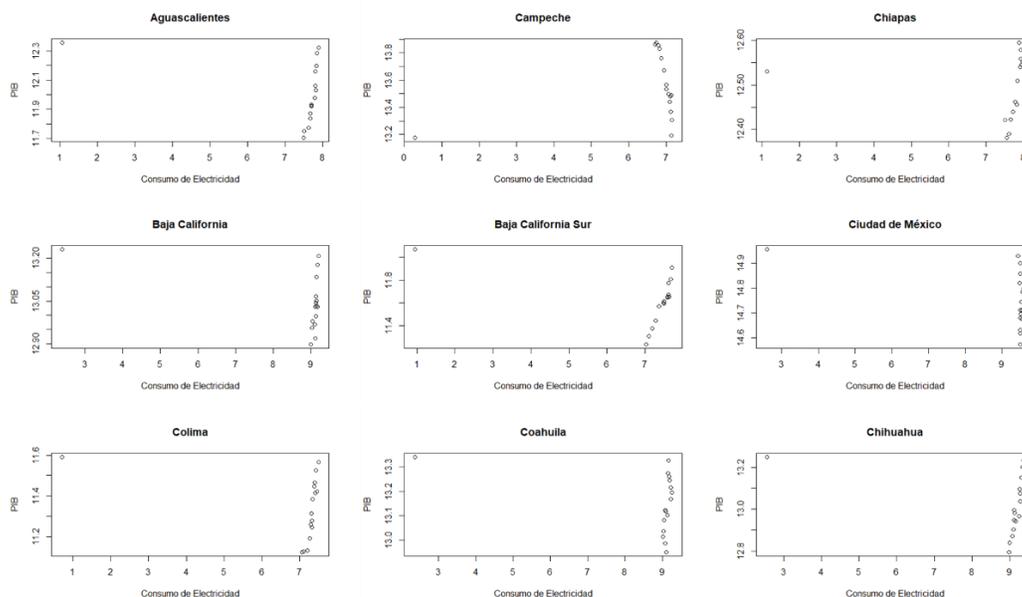
Cuadro 1: Correlación entre el consumo de electricidad y PIB

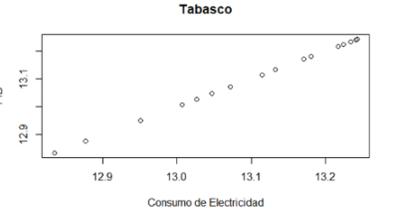
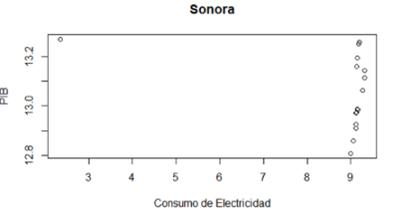
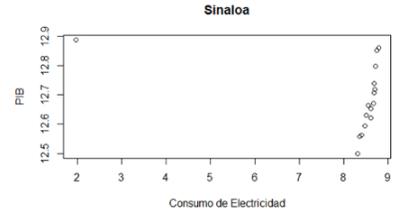
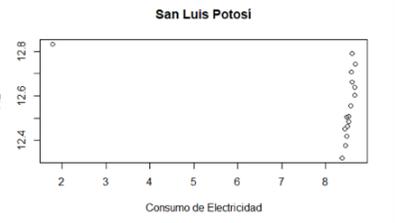
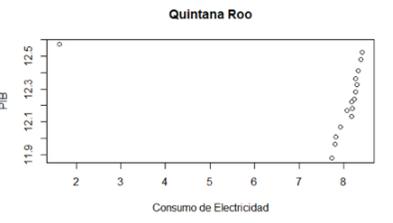
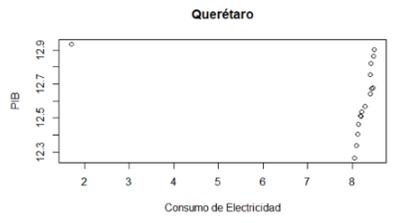
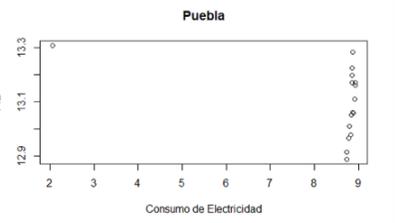
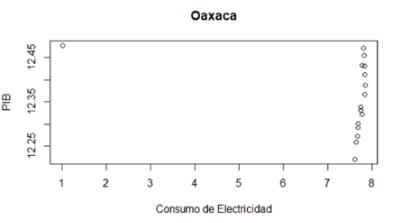
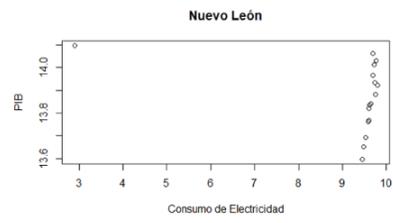
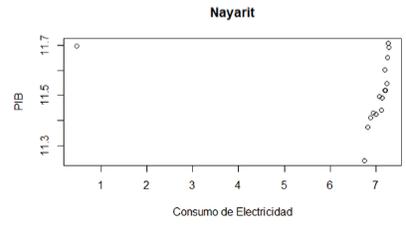
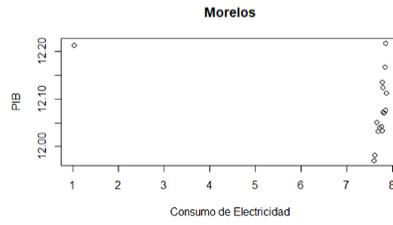
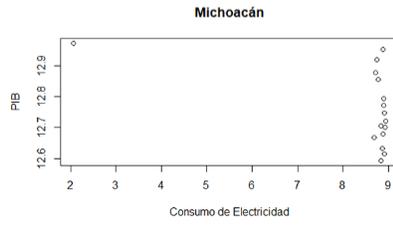
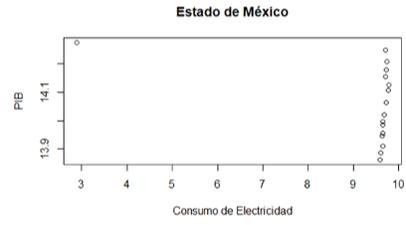
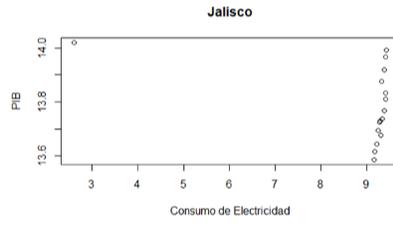
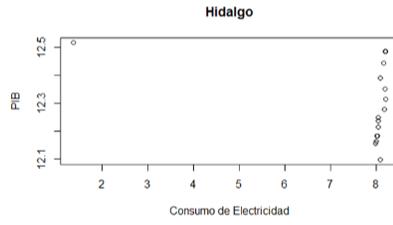
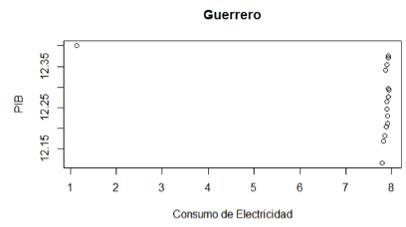
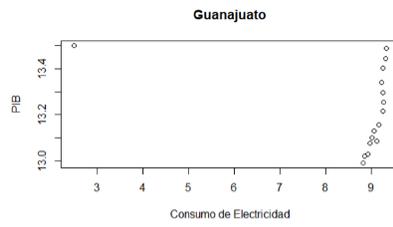
	Electricidad	PIB
Electricidad	1	0.9880
PIB	0.9880	

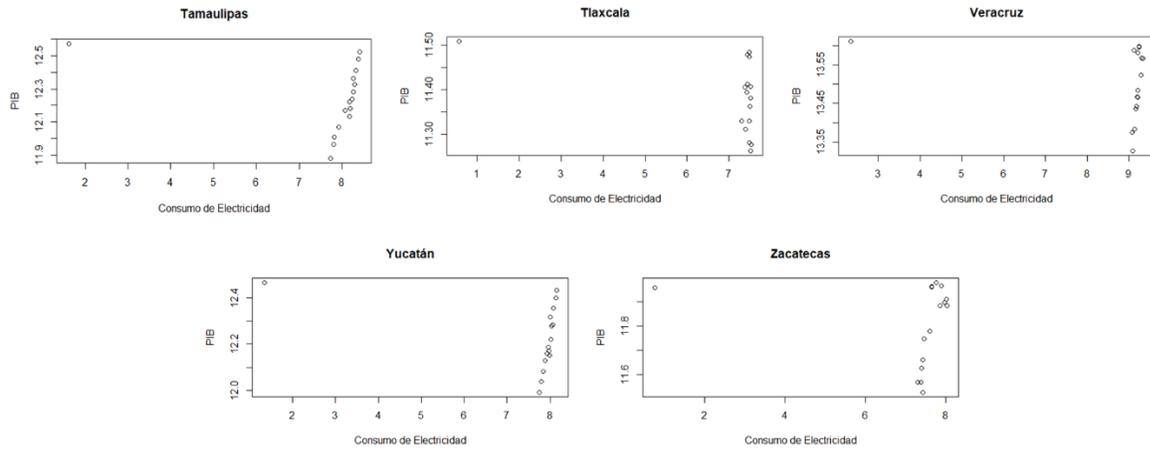
Fuente: elaboración propia

En la gráfica 5, se puede observar el comportamiento de los distintos estados de la república, dentro de los cuales con excepción de Campeche se ve una clara relación positiva entre el consumo de electricidad y el PIB; asimismo, se puede destacar el comportamiento más marcado de dicha relación como es el estado de Tabasco; además, se puede ver que las pendientes varían. Por lo cual, se puede apreciar una heterogeneidad de las pendientes entre los estados, lo cual implica que el análisis de datos panel es el más apropiado. Entonces, el factor territorial es relevante en la relación consumo de electricidad y crecimiento económico mexicano.

Gráfica 5: Diagrama de dispersión del consumo de electricidad estatal vs el PIB estatal, 2003-2018 (variables en logaritmos)







Fuente: elaboración propia con datos de INEGI y SIE

En síntesis, si bien existe una variación en las pendientes de los estados, estas son positivas, por lo que, a nivel agregado la relación también es positiva. Por lo cual, se puede apreciar que la hipótesis de trabajo puede ser factible, ya que dada la literatura al mostrar una relación positiva entra dentro de las cuatro posibles hipótesis (hipótesis de crecimiento, hipótesis de conservación, hipótesis de retroalimentación o hipótesis de neutralidad). Es decir, puede ser factible la hipótesis de crecimiento, hipótesis que se pretende demostrar mediante el siguiente análisis econométrico.

Resultados empíricos

En esta sección se presentan los resultados empíricos. Para ello: primero, se muestran las pruebas de raíz unitaria para saber el orden de integración de las variables; posteriormente, se exponen las pruebas de cointegración para determinar si hay o no relación a largo plazo; consecutivamente, se aplica el modelo de corrección de error, y finalmente, se aplica la prueba de causalidad de Dumitrescu-Hurlin.

i. Raíz Unitaria

En este apartado, se analiza la estacionariedad de las variables. La tabla 6 presenta el resultado de la prueba de raíz unitaria Harris–Tzavalis (1999) aplicada sobre las variables en logaritmos. Se puede apreciar que los resultados indican que las variables tienen raíz unitaria. Es decir, las variables son no estacionarias. Además, se muestran los resultados para las variables en primeras diferencias con el objetivo de determinar si existen más raíces unitarias. Por lo que, se puede ver que se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria. En otras palabras, las variables en primeras diferencias son estacionarias. Por ello, las series en niveles son integradas de orden uno.

Tabla 6

Prueba de raíz unitaria Harris–Tzavalis

Variable	Estadístico t	Probabilidad	Orden de Integración
e	-0.3747	0.3539	I(1)
Δe	-28.2640	0.0000	I(0)
y	-0.1367	0.4456	I(1)
Δy	-29.3443	0.0000	I(0)

Fuente: Elaboración propia.

Δx indica la primera diferencia de la variable en cuestión (x).

La tabla 7 presenta la prueba de de Im, Pesaran y Shin (2003) para raíces unitarias en datos panel. Por lo que, los resultados indican que tanto para el consumo de electricidad y el PIB se acepta la hipótesis nula de tener raíz unitaria. Entonces, las variables son no estacionarias. Mientras que, para las variables en primeras diferencias rechazan la hipótesis nula por lo que las variables en primeras diferencias son estacionarias. Es decir, se vuelve a confirmar que las variables en niveles son integradas de orden uno. Estos resultados son confiables, ya que se

pueden observar en la literatura existente por ejemplo en Apergis y Payne (2009a) o Acaravci y Ozturk (2010).

Tabla 7

Prueba de Im, Pesaran y Shin de Raíz Unitaria

Variable	Estadístico t	Probabilidad	Orden de Integración
e	-1.5195	0.0643	I(1)
Δe	-8.9219	0.0000	I(0)
y	-0.2475	0.4023	I(1)
Δy	-9.4664	0.0000	I(0)

Fuente: elaboración propia

Notas: Δx indica la primera diferencia de la variable en cuestión (x).

ii. Pruebas de cointegración

Una vez establecido el orden de integración de las variables. Es decir, las variables son del mismo orden de integración (orden 1), se harán las pruebas de cointegración para determinar si hay una relación a largo plazo o no. Para ello, se calcularán las pruebas de cointegración de Pedroni (1999), ya que utilizar técnicas de cointegración de paneles permite estudiar los estados de la república mexicana, considerando que esta metodología es apropiada se probaron los siguientes modelos:

$$\text{Modelo 1: } y_{it} = \alpha_i + \delta_i t + \beta_{1i} e_{1it} + \varepsilon_t$$

$$\text{Modelo 2: } e_{it} = \alpha_i^\circ + \delta_i^\circ t + \beta_{1i}^\circ y_{1it} + \varepsilon_t^\circ$$

Tabla 8

Prueba de cointegración residual de Pedroni

Hipótesis alternativa: Coeficientes AR Comunes (dimensión-<i>within</i>)			Hipótesis alternativa: Coeficientes AR Individuales (dimensión-<i>between</i>)		
Modelo 1					
	<i>Estadístico</i>	<i>Probabilidad</i>		<i>Estadístico</i>	<i>Probabilidad</i>
Estadístico Panel v	-0.0255	0.4898	Est. Grupo rho	1.2689	0.1022
Estadístico Panel rho	-0.4423	0.3291	Est. Grupo PP	-5.7284	0.0000*

Estadístico Panel PP	-5.1463	0.0000*	Est. Grupo ADF	-4.1627	0.0000*
Estadístico Panel ADF	-3.8990	0.0000*			

Modelo 2

	<i>Estadístico</i>	<i>Probabilidad</i>		<i>Estadístico</i>	<i>Probabilidad</i>
Estadístico Panel v	2.4991	0.0062*	Est. Grupo rho	-0.9603	0.1684
Estadístico Panel rho	-2.9976	0.0014*	Est. Grupo PP	-7.5630	0.0000*
Estadístico Panel PP	-6.7667	0.0000*	Est. Grupo ADF	-13.5495	0.0000*
Estadístico Panel ADF	-8.9991	0.0000*			

Fuente: elaboración propia
Notas: *, ** y *** indican 1%, 5% y 10% niveles de significancia respectivamente.

Las pruebas de cointegración de panel de Pedroni se resumen en la tabla 8, en ella se muestra que 4 de 7 estadísticos para el modelo 1 y 6 estadísticos de 7 para el modelo 2, son significativos a un nivel del 5 por ciento. Por lo cual, en el modelo 2 se rechaza la hipótesis nula de no cointegración para seis pruebas, entonces existe cointegración entre las variables. Por otro lado, el modelo 1 presenta una mezcla de resultados, mismos que son similares a los de Acaravci y Ozturk (2010), donde encuentran una cointegración mixta. No obstante, por decisión mayoritaria se puede decir que la hipótesis nula de no cointegración se rechaza. Por ello, en el modelo 1 hay cointegración. Por lo tanto, en ambos modelos, los resultados confirman la existencia de una relación de cointegración a largo plazo entre las variables (en logaritmos) consumo de electricidad y el PIB. Estos hallazgos son consistentes con los de Li *et al.* (2011) y Romano y Scandurra (2011), ya que al igual que en este trabajo encuentran una relación de largo plazo utilizando las pruebas de cointegración de Pedroni (1999).

Además, al existir cointegración en los modelos indica que hay una heterogeneidad entre los estados, que es consistente con los diagramas de dispersión estatales en la sección de hechos estilizados, por lo cual, el fenómeno territorial es notable, es decir los estados se comportan de manera diferente. No obstante, para fines de este trabajo no se entrará en detalles para descubrir la causa de los diferentes comportamientos, únicamente recalcaremos que el comportamiento heterogéneo de los estados es relevante.

Por último, las pruebas de cointegración se pueden utilizar para verificar si no se ha omitido variables estacionarias. Es decir, si no existe cointegración implicaría que las variables esenciales para la cointegración se omiten del modelo (Stern, 2011). Entonces, aquí no se presenta este problema, ya que las variables cointegran. Por lo cual, se decide hacer un modelo bivariado.

Además, esto se apoya en el hecho de que la mayoría de los estudios en la literatura utilizan solo el PIB y el consumo de electricidad en sus modelos, por ejemplo se puede ver en Payne (2010) en la tabla 1 (Acaravci y Ozturk, 2010).

iii. Modelo de corrección de error

$$\text{Modelo 1: } y_{i,t} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta'_{ij} e_{i,t-j} + \mu_i + \epsilon_{it}$$

$$\text{Modelo 2: } e_{i,t} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} e_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta'_{ij} y_{i,t-j} + \mu_i + \epsilon_{it}$$

Tabla 9

Resultados de error de corrección del panel.

Modelo 1

	MG	PMG
Velocidad de ajuste	-0.2278732* (.0439679)	-0.160368* (.0312776)
Parámetros de Largo		
Plazo		
e_t	1.298266*(.4302797)	0.1218373* (.0312938)
Parámetros de Corto		
Plazo		
Δe_t	0.220846**(.1022095)	0.2928568** (.1214661)

Modelo 2

	MG	PMG
Velocidad de ajuste	-0.5491011* (.0538938)	-0.5870565 * (.1521788)
Parámetros de Largo		
Plazo		
y_t	-1.335326 (1.055618)	0.1946101* (.0204704)

Parámetros de Corto

Plazo

Δy_t	-3.416608 (2.610336)	-3.884782 (2.823283)
--------------	----------------------	----------------------

Fuente: elaboración propia

Notas: *, ** y *** indican 1%, 5% y 10% niveles de significancia respectivamente.

Entre () son los errores estándar.

En la tabla 9 se puede observar que la velocidad de ajuste indica que efectivamente se está convergiendo al largo plazo, lo cual es consistente con la literatura existente. Para ilustrar, Chirwa y Odhiambo (2020) obtienen que la velocidad de ajuste hacia el encuentro al equilibrio de largo plazo tiene en promedio una vida de cuatro años.

En otro orden de ideas, en el modelo 1 los parámetros de corto plazo se aproximan a un quinto de los parámetros de largo plazo para el modelo MG, mientras que para el modelo PMG los parámetros de largo plazo se aproximan a la mitad de los parámetros de corto plazo, lo cual no es consistente. En contraste, en el modelo 2 los parámetros del modelo MG no son significativos. Asimismo, en el modelo PMG el parámetro de corto plazo tampoco es significativo, este resultado es similar al encontrado en Apergis y Payne (2009b), donde el PIB real no tiene un impacto estadísticamente significativo en el uso de energía a corto plazo; aunque el parámetro es negativo, se podría decir que a pesar de que la economía pueda crecer, puede estar limitada por obstáculos de infraestructura, políticos o administrativos que pueden reducir el consumo de la electricidad. Por ejemplo, una inadecuada asignación de ingresos de un país puede dar lugar a pobreza y una menor demanda de bienes y servicios, en particular la electricidad (Squalli, 2007). Sin embargo, para este estudio lo importante es el parámetro de largo plazo, el cual es significativo y positivo. Por ello, dentro del modelo 2 se infiere que el mejor modelo es el modelo PMG. No obstante, para comprobarlo se realizará la prueba de Hausman (1978).

Ahora bien, respecto al modelo 1 se puede verificar que existe una relación positiva en el largo plazo entre el consumo de electricidad y crecimiento económico, misma que coincide con Asongu, *et. al.* (2020), Chirwa y Odhiambo (2020) o Chen y Fang (2018). Por lo cual, si aumenta un por ciento el consumo de electricidad el PIB aumenta superior a la unidad en 30 por ciento en el caso del estimador MG, mientras que aumenta 12 por ciento en el caso del estimador PMG, donde se puede observar que el modelo PMG no es el mejor modelo para estos datos. Sin embargo, para concretar este último punto se realizará la prueba de Hausman (1978).

Tabla 10
Prueba de Hausman

Ho: el estimador PMG es eficiente y consistente, pero MG no es eficiente
Modelo 1
Prob>chi2 = 0.0117
Modelo 2
Prob>chi2 = 0.2393

Fuente: elaboración propia

Dicho lo anterior, en la tabla 10 se puede ver que el modelo 1 dada la probabilidad se rechaza la hipótesis nula. Entonces, el mejor modelo se estima con MG. Por lo cual, el modelo MG obtiene una media para cada uno de los estados de la república mexicana. Es decir, el modelo muestra heterogeneidad que es consistente con la realidad mexicana. Esto último, es un dato interesante, ya que en su mayoría estudios previos ignoran la dimensión regional (Herrerias *et al.*, 2013).

Por otro lado, para el modelo 2 se acepta la hipótesis nula, por lo que el mejor modelo se estima con PMG, lo cual es relevante pues indica que hay heterogeneidad en los interceptos, mientras que hay homogeneidad en las pendientes de largo plazo, es decir el efecto de la producción en el consumo de electricidad es igual para todos los estados.

iv. Prueba de causalidad para un panel de datos

Tabla 11
Prueba de causalidad Dumitrescu-Hurlin

Hipótesis nula:	Estadístico Zbar	Probabilidad
y no causa homogéneamente a e	2.6919	0.0071*
e no causa homogéneamente a y	9.1632	0.0000*

Fuente: elaboración propia

Notas: *, ** y *** indican 1%, 5% y 10% niveles de significancia respectivamente.

La tabla 11 muestra los resultados de la prueba de causalidad de Granger para datos panel, la cual indica que hay una causalidad que va del consumo de electricidad al crecimiento económico y del crecimiento económico al consumo de electricidad. Es decir, hay una relación bidireccional.

Entonces, el consumo de energía y el crecimiento económico están interrelacionados y pueden ser complemento uno del otro (Apergis y Payne, 2009b). Por lo que, este resultado apoya la hipótesis de retroalimentación de Yang (2000), Yoo (2005), Polemis y Dagoumas (2013), Hamdi *et al.* (2014) y Osman *et al.* (2016). Asimismo, es consistente con el uso de metodología similar a la de Li *et al.* (2011) y Romano y Scandurra (2011). Además, para los trabajos realizados en México es congruente con el trabajo de Galindo y Sánchez (2005). Por lo cual, para coadyuvar en la evaluación del efecto de políticas energéticas en el crecimiento, se ha probado empíricamente la dirección de causalidad entre estas dos variables.

Finalmente, si bien el uso de datos panel implica que los diferentes estados sean tratados como una unidad, y como tal, los resultados implican los del estado promedio del panel (Ciarreta y Zagarra, 2010). Es decir, que un estado representativo de la república mexicana tiene una relación bidireccional entre el consumo de electricidad y crecimiento económico. Por lo cual, no se debe perder de vista las pruebas de cointegración, así como la prueba de causalidad, que muestran una heterogeneidad entre los estados, lo cual es más cercano a la realidad mexicana.

No obstante, se puede recalcar que existe para la relación unidireccional que va del consumo de electricidad al crecimiento económico el fenómeno territorial es sumamente relevante, ya que el mejor modelo fue MG, mientras que para la relación unidireccional del crecimiento económico al consumo de energía eléctrica el mejor modelo fue PMG, donde el efecto del crecimiento al consumo de electricidad es homólogo para todos los estados, lo cual es interesante. Por lo cual, si bien no se entra en detalle, si se puede decir que el fenómeno territorial es trascendental en la relación consumo de electricidad y crecimiento económico en México. Por ello, esto es un aporte de la investigación a la literatura ya existente.

Conclusiones

En la actualidad, la economía global vive en un mundo de grandes transformaciones, enfrentando nuevos retos que exigen nuevas estrategias de crecimiento. Por lo cual, el papel de la energía es uno de los ejes que definen el sistema económico. Es decir, de acuerdo con nuestro modo de vida, el progreso, tal y como lo conocemos, se ha basado en un incremento del consumo energético. En particular, la electricidad ha representado el motor que ha impulsado el crecimiento del consumo energético. Entonces, la disponibilidad de electricidad resulta necesaria para el desarrollo de actividades básicas como la sanidad, la educación o el comercio local (González *et al.*, 2008).

En ese sentido, ya que la electricidad es un elemento clave para las actividades cotidianas en nuestro país, se estudió el nexo entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico en México. Por ello, se realizó una amplia búsqueda del estado del arte, en la cual se pudo observar las diferentes metodologías aplicadas a la relación crecimiento-energía, donde se determinó que la metodología de panel no había sido utilizada para el caso mexicano. Por lo cual, el uso de datos panel es una aportación de esta investigación. En ese caso, para analizar la relación entre el consumo de energía eléctrica y crecimiento económico en México, se utilizó un panel de datos para el periodo de 2003-2018. Por lo tanto, se probó que hay una relación de largo plazo entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico que es un resultado consistente con la literatura previamente analizada.

Los resultados fueron superiores a los esperados en la hipótesis de trabajo, ya que se probó la existencia de una relación bidireccional, no solo unidireccional como era el planteamiento inicial. Por lo que, se puede concluir que el consumo de energía y el crecimiento económico se complementan entre sí (Squalli, 2007). En consecuencia, este trabajo apoya la hipótesis de retroalimentación. De tal forma que, al actualizar la noción de existencia de la relación causal entre el consumo de energía eléctrica y crecimiento económico se vuelve de interés para los encargados de delinear las políticas energéticas, pues es una herramienta útil para analizar la idoneidad del diseño de las políticas (Massa y Rosellón, 2020).

Dado que unos de los objetivos trascendentales del mercado de la electricidad es lograr la eficiencia económica y el bienestar social óptimo (Zenón y Rosellón, 2012), una política energética orientada en lograr eficiencia en el consumo de electricidad puede no perjudicar al crecimiento económico (Payne, 2010). Por otro lado, un efecto negativo en la actividad económica

puede dar como resultado un impacto negativo en el consumo de electricidad. En suma, con este nuevo conocimiento, es el momento en el que México debería invertir en el sector energético, ya que todos los procesos de producción de las economías modernas requieren energía.

Limitaciones y nuevos horizontes

Dado el proceso de investigación seguido en este trabajo sobre la literatura y la metodología usada por los diferentes investigadores en la discusión académica del tema, si bien, por una parte, se consideró que una aportación importante de este trabajo sería la utilización del análisis de panel de datos, el cual no se había utilizado previamente en otras investigaciones. Por otra parte, es conveniente decir que la utilización de esta metodología sugiere que un marco analítico a nivel regional puede fortalecer la forma de abordar más integralmente futuros trabajos sobre el tema. En otras palabras, es recomendable para futuras investigaciones que utilicen esta metodología, hacer uso de un enfoque urbano y regional, ayudaría a obtener resultados más robustos.

Una limitación en la aplicación de esta nueva metodología es el periodo de tiempo, ya que es reciente la contabilidad del consumo de electricidad a nivel estatal y la medición del PIB estatal solo se encuentra con periodicidad anual. Entonces, se podrían utilizar algunos indicadores trimestrales como el Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAE) que puedan coadyuvar a más observaciones y se puedan realizar estimaciones a nivel estatal. Lo anterior, con la finalidad de generar una mayor optimización del consumo de electricidad según las necesidades de cada estado de la república. Por lo que, desde una perspectiva territorial se podrían diseñar políticas energéticas más eficientes y especializadas para cada región. Asimismo, para añadir un enfoque sustentable en el análisis, se podría incluir el uso de energías limpias en la generación de electricidad y así determinar el efecto en la actividad económica de México.

Referencias

- Acaravci, A. y Ozturk, I. (2010). Electricity consumption-growth nexus: Evidence from panel data for transition countries. *Energy Economics*, 32, 604–608.
- Akarca, A. y Long, T. (1980). On the relationship between energy and GNP: a reexamination. *Energy Development*, 5, 326-331.
- Apergis, N. y Payne, J. (2009a). Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy Economics*, 31, 211–216.
- Apergis, N. y Payne, J. (2009b). Energy consumption and economic growth: Evidence from the Commonwealth of Independent States. *Energy Economics*, 31, 641–647.
- Asafu-Adjaye, J. (2000). The Relationship between Energy Consumption, Energy Prices and Economic Growth: Time Series Evidence from Asian Developing Countries. *Energy Economics*, 22, 615-625.
- Asongu, S., Agboola, M., Alola, A. y Bekun, F. (2020). The criticality of growth, urbanization, electricity and fossil fuel consumption to environment sustainability in Africa. *Science of the Total Environment*, 712 (136376), 1-8.
- Barreto, C. y Campos, J. (2012). Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel. *Ecos de Economía*, 35, 73-89.
- Caballero, K. y Galindo, L. (2007). El consumo de energía en México y sus efectos en el producto y los precios. *Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía*, 38(148), 127-151.
- Chen, Y. y Fang, Z. (2018). Industrial electricity consumption, human capital investment and economic growth in Chinese cities. *Economic Modelling*, 69, 205–219.
- Cheng, B. (1997). Energy Consumption and Economic Growth in Brazil, Mexico and Venezuela: A Time Series Analysis. *Applied Economic Letters*, 4, 671-674.
- Chirwa, T. y Odhiambo, N. (2020). Electricity consumption and economic growth, New evidence from advanced, emerging and developing economies. *International Journal of Energy*. 14(1), 1-19.
- Cho, S., Heo, E. y Kim, J. (2015). Causal relationship between renewable energy consumption and economic growth: comparison between developed and less-developed countries. *Geosystem Engineering*, 18(6), 284-291.
- Ciarreta, A. y Zarraga, A. (2010). Economic growth-electricity consumption causality in 12 European countries: A dynamic panel data approach. *Energy Policy*, 38, 3790–3796.
- Dumitrescu, E. y Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460.

- Galindo, L. y Sánchez, L. (2005). El consumo de energía y la economía mexicana: un análisis empírico con VAR. *Economía Mexicana*. Nueva Época, XIV (2), 271-298.
- Ghosh, S. (2002). Electricity consumption and economic growth in India. *Energy Policy*, 30, 125-129.
- Gómez, M., Ciarreta, A. y Zarraga, A. (2018a) Linear and nonlinear causality between energy consumption and economic growth: The case of Mexico 1965-2014. *Energies*, 11, 784.
- Gómez, M., Ciarreta, A. y Zarraga, A. (2018b). Consumo de energía, crecimiento económico y comercio: Un análisis de causalidad para México. *EconoQuantum*, 15(1), 53-72.
- Gómez, M. y Rodríguez, J. (2015). Electricity consumption and economic growth: the case of Mexico. *International Journal of Social, Behavioral, Education and Management Engineering*, 9(8), 2803-2808.
- González, E., Sáez, K. y Lago J. (2008). Atlas de la Energía en América Latina y el Caribe: las inversiones de las multinacionales españolas y sus impactos económicos, sociales y ambientales. Observatorio de Multinacionales en América Latina y Asociación Paz con Dignidad.
- Granger, C. (1986). Developments in the study of cointegrated economic variables. *Oxford bulletin of economics and statistics*, 48(3), 213-228.
- Hamdi, H., Sbia, R. y Shahbaz, M. (2014). The nexus between electricity consumption and economic growth in Bahrain. *Economic Modelling*, 38, 227–237.
- Harris, R. y Tzavalis, E. (1999). Inference for unit roots in dynamic panels where the time dimension is fixed. *Journal of Econometrics*, 91, 201–226.
- Hausman, J. (1978). Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251-1271.
- Herrerias, M., Joyeux, R. y Girardin, E. (2013). Short- and long-run causality between energy consumption and economic growth: Evidence across regions in China. *Applied Energy*, 112, 1483–1492.
- Im, K., Pesaran, M. y Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics* 115,53–74.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en línea: https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2013/default.html#Datos_abiertos (consultado el 9 de febrero de 2020)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en línea: https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos_Colores.asp?pr oy=enoe_pe_ed15_po (consultado el 9 de febrero de 2020)
- Jumbe, C. (2004). Cointegration and causality between electricity consumption and GDP: empirical evidence from Malawi. *Energy Economics*, 26, 61–68.

- Karanfil, F. (2008). Energy consumption and economic growth revisited: does the size of unrecorded economy matter? *Energy Policy*, 36 (8), 3029–3035.
- Khan, M., Qayyum, A. y Ahmad, E. (2007). Dynamic Modelling of Energy and Growth in South Asia. *The Pakistan Development Review*, 46(4), 481-498.
- Kraft, J. y Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *Journal of Energy and Development*, 3, 401–403.
- Li, R., Ma, X. y Lo, K. (2011). Electricity consumption-economic growth nexus in China: Evidence from provincial panel data. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Detroit, MI, USA, 1-8.
- Masih, A. y Masih, R. (1997). On the Temporal Causality Relationship between Energy Consumption, Real Income, and Prices: Some New Evidence for the Asian Energy Dependent NIC 's Based on Multi variate Cointegration/ Vector Error- Correction Approach. *Journal of Policy Modeling*, 19(4), 417-440.
- Massa, R. y Rosellón, J. (2020). Linear and nonlinear Granger causality between electricity production and economic performance in Mexico. *Energy Policy*, 142, 1-8.
- Marroquín, J. y Ríos, H. (2017). Crecimiento económico, precios y consumo de energía en México. *Ensayos Revista de Economía*, 36(1), 59-78.
- Narayan, P. y Prasad, A. (2008). Electricity consumption–real GDP causality nexus: Evidence from a bootstrapped causality test for 30 OECD countries. *Energy Policy*, 36, 910–918.
- Narayan, P. y Smyth, R. (2005). Electricity consumption, employment and real income in Australia evidence from multivariate Granger causality tests. *Energy Policy*, 33, 1109–1116.
- Njindan, B. (2015). Electricity consumption and economic growth in Nigeria: A revisit of the energy-growth debate. *Energy Economics*, 51, 166–176.
- Osman, M., Gachino, G. y Hoque, A. (2016). Electricity consumption and economic growth in the GCC countries: Panel data analysis. *Energy Policy*, 98, 318–327.
- Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy–growth nexus. *Energy Policy*, 38, 340-349.
- Payne, J. (2009). On the dynamics of energy consumption and output in the US. *Applied Energy*, 86 (4), 575–577.
- Payne, J. (2010). A survey of the electricity consumption-growth literature. *Applied Energy*, 87, 723–731.
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 653–678.
- Pesaran, M. y Smith, R. (1995). Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 68(1), 79-113.

Pesaran, M., Shin, Y. y Smith, R. (1999). Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621-634.

Polemis, M. y Dagoumas A. (2013). The electricity consumption and economic growth nexus: Evidence from Greece. *Energy Policy*, 62, 798–808.

Sala-i-Martin, X. (2000). *Apuntes de Crecimiento Económico*. Ed. Antoni Bosch. Barcelona, España.

Real Academia Española (RAE). Disponible en línea: <https://dle.rae.es/termin%C3%A1mico> (consultado el 31 de agosto de 2020)

Romano, A. y Scandurra, G. (2011). Dynamics of economic growth and electricity consumption at regional level: the Italian case. *Energy Syst*, 2, 143–150.

Ruiz, B. (2018). Estimación de una función de producción aumentada por delincuencia para México: 1999.1-2017.4. Grado de Especialista en Econometría Aplicada. UNAM.

Secretaría de Energía (SENER). (2019). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2019-2033. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/475497/PRODESEN_V.pdf

Shahbaz M., Tang C. y Shahbaz Shabbir M. (2011). Electricity consumption and economic growth nexus in Portugal using cointegration and causality approaches. *Energy Policy*, 39(6), 3529-3536.

Shengfeng, X., Sheng, X., Tianxing, Z. y Xuelli, Z. (2012). The Relationship between Electricity Consumption and Economic Growth in China. *Physics Procedia*, 24, 56-62.

Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía. Disponible en línea: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions> (consultado el 9 de febrero de 2020)

Soytas, U. y Sari, R. (2003). Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. *Energy Economics*, 25, 33–37.

Squalli, J. (2007) Electricity consumption and economic growth: Bounds and causality analyses of OPEC members. *Energy Economics*, 29, 1192–1205.

Stern, D. (1993). Energy and economic growth in the USA: A multivariate approach. *Energy Economics*, 15(2), 137-150.

Stern, D. (2000). A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy Economics*, 22, 267–283.

Stern, D. (2011). The Role of Energy in Economic Growth. *Ecological Economics Reviews*, 1219, 26-51.

Yang, H. (2000). A note on the causal relationship between energy and GDP in Taiwan. *Energy Economics*, 22(3), 309-317.

Yoo, S. (2005). Electricity consumption and economic growth: evidence from Korea. *Energy Policy*, 33, 1627–1632.

Zamarripa, R. (2016). Consumo de electricidad y crecimiento económico en México: Análisis de series de tiempo y prospectiva. Tesis de Maestría en Economía Aplicada. El Colegio de la Frontera Norte A.C.

Zenón, E. y Rosellón, J. (2012). Optimización de las redes de transmisión eléctrica en Norteamérica. *Trimestre Económico*, 315(3), 575-600.