

Generación de Electricidad, Pib, Exportaciones e INPC. Un Análisis de Causalidad para México 1970-2015

Generation of Electricity, GDP, Exports and INPC. A Causality Analysis for Mexico 1970-2015

Mario Gómez Aguirre¹

Julieta Castro Loaiza²

Jerjes Izcoatl Aguirre Ochoa³

Recibido: 20 de agosto de 2019 Aceptado: 1 de noviembre de 2019

DOI: <https://doi.org/10.33110/cimexus140202>

RESUMEN

Durante los últimos años varias economías han experimentado un aumento en el comercio internacional, PIB y generación de energía eléctrica, por lo que ha surgido el interés de distintos trabajos en investigar el efecto de un aumento de exportaciones sobre la generación de electricidad y las implicaciones de éste en el crecimiento económico. Este trabajo utiliza datos anuales para México durante el periodo 1970-2015, con el fin de examinar la relación de causalidad entre crecimiento económico (PIB), generación de energía eléctrica y comercio exterior (exportaciones). Los resultados indican que las variables son integradas de orden uno y que existe una relación a largo plazo entre ellas. Se encontró que la generación de electricidad causa PIB en el sentido de Granger, lo cual implica que es importante que sean revisadas las políticas de conservación de energía, ya que podrían tener un efecto negativo en el crecimiento económico. En cuanto a políticas de generación de electricidad, sobre todo aquellas que promueven el uso de energías renovables, es de suma importancia su implementación ya que los resultados muestran una relación de causalidad bidireccional entre exportaciones y generación de energía eléctrica.

Palabras clave: México, crecimiento económico, exportaciones, generación de electricidad, causalidad.

1 Profesor e investigador adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Correo electrónico: mgomez@umich.mx

2 Estudiante del Doctorado en Ciencias en Negocios Internacionales del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Correo electrónico: jarquitecture@gmail.com

3 Profesor e investigador adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Correo electrónico: jerjes_99@yahoo.com

ABSTRACT

Over the past years many economies have experienced large increases in international trade, GDP and electricity generation, this has led to plenty of academic research on the effect of an increase in exports to electricity generation and the implications of that on economic growth. This research employs annual data for Mexico from 1970 to 2015 to examine the causal relationship between economic growth (GDP), electricity generation and international trade (exports). As this study found a causal relationship in the Granger sense running from the electricity generation to GDP, it is important that electricity conservation policies are revised by the government because they could have a negative impact on the economic growth. Regardless to electricity generation, especially those that promote the use of renewable sources, it is important their implementation due to the bidirectional causal relationship between exports and electricity generation.

Key words: Mexico, economic growth, exports, electricity generation, Granger causality.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, varias economías emergentes y en desarrollo han experimentado un rápido incremento en el comercio, el ingreso y la generación de energía. Hasta la fecha, hay una gran cantidad de trabajos publicados que investigan la relación entre el consumo de energía y el Producto Interno Bruto (PIB), así como una literatura más amplia que examina la relación entre las exportaciones y el PIB. Sin embargo, hay pocos estudios acerca de la relación entre el comercio y energía, donde se utilicen la generación de energía eléctrica como variable proxy.

El objetivo de este trabajo es conocer la relación de causalidad que existe entre las variables crecimiento económico, generación de electricidad, exportaciones y precios para el caso de México durante en el periodo 1970-2015; para ello se aplicaron pruebas de raíz unitaria de Augmented Dickey Fuller (ADF) y Phillips y Perron (PP) y poder así determinar el orden de integración de las variables. También se realizó un análisis de cointegración entre las variables utilizando la prueba de cointegración de Johansen. Y finalmente se estimó el Vector de Corrección de Errores, en el cual se analizaron las relaciones de causalidad en el corto y largo plazo para las variables.

Este documento se encuentra dividido en cuatro secciones. En la siguiente sección se aborda el planteamiento del problema, en el cual se expone la relevancia de llevar a cabo este estudio. Posteriormente en la sección II, se presenta una revisión de literatura, donde se muestra evidencia empírica de las distintas relaciones entre variables estudiadas en este trabajo: exportaciones

y crecimiento económico, generación de electricidad y crecimiento y generación de electricidad y exportaciones. Más adelante, en la sección III se detallan los datos y modelos econométricos utilizados para este análisis. Finalmente en la sección IV se culmina el artículo con una serie de conclusiones.

I PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

Como se sabe generalmente, la electricidad aumenta la productividad del capital, el trabajo y varios otros factores de producción. Además, un mayor uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones está causando la transición mundial hacia una sociedad digital que puede requerir una mayor generación de electricidad. Para hacer frente proactivamente a la creciente demanda de electricidad que acompaña al crecimiento económico, es inminente que en México sea investigada la relación causal entre la generación de electricidad y el crecimiento económico y desarrollar una política de generación de electricidad adecuada.

El propósito de este documento es, por lo tanto, investigar la causalidad entre la generación de electricidad y el crecimiento económico, además de las exportaciones y los costos, y conocer las implicaciones políticas de los resultados.

La energía es fundamental para todos los sectores de las economías modernas, convirtiéndose así en la base de la mayoría de las actividades económicas. Sin embargo, si las tendencias actuales continúan, se prevé que la demanda mundial de energía se duplique para el año 2050 (Atems y Hotaling, 2018).

Una amplia investigación en economía y disciplinas relacionadas han tratado de abordar cuestiones relacionadas con la energía. Un aspecto de la energía que ha recibido considerable atención recientemente es el impacto de la generación de la electricidad en el crecimiento económico. Gran parte de la literatura existente se ha centrado en la causalidad de Granger entre las dos variables, pero ha llegado a resultados mixtos debido a diferentes muestras, metodologías empíricas, o ambos (Yoo y Kim, 2006; Lean y Smith, 2010; Sarker y Alam, 2010; Ohler y Fetters, 2014; Awad y Yossof, 2016).

Los responsables de las políticas públicas en México han mostrado un gran interés en el papel que desempeña la generación de electricidad en el crecimiento económico. La infraestructura eléctrica del país se está convirtiendo en un componente cada vez más importante de la economía.

Ante un entorno económico internacional cambiante, en México se han llevado a cabo una serie de reformas estructurales en el sector energético del país. En particular, la reforma energética implementada por la Secretaría de Energía (SENER) en 2013, introdujo modificaciones importantes en la estructura y operación del sector energético en México, pues se permitió la participación del sector privado en la exploración, desarrollo, producción, transformación y comercialización de hidrocarburos; así como en la genera-

ción, transmisión, distribución y comercialización, en el caso de la industria eléctrica.

La interacción entre el comercio y energía es una relación que ha sido poco estudiada, para el caso de México, se pueden mencionar a Shahbaz et al. (2014), donde se analiza esta relación pero tomando en cuenta el consumo de energía en lugar de la generación de electricidad para 91 países (incluido México) y encontraron que para los países de mediano ingreso, categoría donde se encuentra México, la relación entre la apertura comercial y el consumo de energía es en forma de U, lo que revela que la apertura comercial reduce el consumo de energía al principio, pero el consumo de energía aumenta con el continuo proceso de apertura comercial.

Es posible que una disminución de generación de electricidad afecte a las exportaciones dado que la energía es un insumo fundamental en la producción de mercancías destinadas a la exportación. La producción de las exportaciones requiere factores de producción como el capital, el trabajo y la energía. Una dramática disminución en la generación de energía, proveniente por ejemplo de alguna política medioambiental, podría afectar la capacidad de producción de bienes para exportación.

La producción económica, el comercio y la energía tienden a moverse juntos a través del tiempo, así como los países de todo el mundo continúan creciendo y desarrollándose, hay un interés en conocer más acerca de la relación dinámica entre estas variables.

La mayoría de los estudios se centran ya sea en la relación entre el consumo de energía y de producción o de la relación entre la producción y el comercio. El consumo de energía, la producción y el comercio tienden a un crecimiento en conjunto a través del tiempo y parece natural incluirlos juntos en un modelo. Mediante el uso de un modelo que combina el comercio, la producción y consumo de energía, se puede obtener una mejor comprensión de la relación dinámica entre estas variables.

La comprensión de la relación entre el consumo de energía, el comercio y la producción es crucial para entender las políticas energéticas, ambientales y para desarrollar nuevas y efectivas políticas del tipo antes mencionadas (Sadorsky, 2012).

El problema de esta investigación radica en que son pocos los estudios de causalidad entre las variables generación de energía y crecimiento económico que se han llevado a cabo para México, la mayoría de los existentes como los de Lee (2005), Mehrara (2007) y Omri y Kahouli (2014), utilizan datos panel, por lo cual los resultados que obtuvieron ellos en sus trabajos podrían diferir de los encontrados en esta investigación, al igual que los indicadores utilizados para cada variable, así como el periodo de análisis son distintos en cada uno de sus artículos. En estudios específicos para México se pueden mencionar a Gómez y Rodríguez (2015), en el cual estudiaron la relación de causalidad entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico en

México para el período 1971-2011 y encontraron una relación de causalidad que va desde el crecimiento económico hacia el consumo de electricidad. Más recientemente, Gómez et al., (2018) analizan la relación entre consumo de energía, crecimiento económico y comercio exterior en México, para el período 1965-2013, incorporando cambios estructurales y utilizando al capital y el trabajo como variables de control. Los resultados muestran que existen cinco relaciones de equilibrio de largo plazo entre la producción, capital, trabajo, consumo de energía y las exportaciones (importaciones), y una relación de causalidad bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico, entre las importaciones y el crecimiento económico, y unidireccional de las exportaciones al PIB.

Estudiar estas relaciones de causalidad para México se torna importante sobre todo en el ámbito de implementación de políticas en materia de comercio y de generación de energía, justo como menciona Sadorsky (2011), para la relación consumo de energía-exportaciones, si se encuentra que el consumo de energía causa exportaciones o importaciones en el sentido de Granger, entonces cualquier reducción en el consumo de energía, procedentes por decir de las políticas de conservación de la energía, reducirá las exportaciones o las importaciones y disminuirán los beneficios del comercio. Políticas de conservación energética que reduzcan el consumo de energía compensarán las políticas de liberalización del comercio destinadas a promover el crecimiento económico.

De igual manera que con las exportaciones es importante conocer el sentido de la causalidad entre el PIB y la generación de energía, ya que de esa forma se podría brindar soporte a las estrategias del gobierno en materia de energía o en caso de que éstas no estén funcionando de la manera esperada, los resultados de esta investigación servirían de respaldo para explicar el porqué de esa situación y como podría solucionarse.

México y la generación de energía eléctrica

En los últimos años, se ha observado un panorama de modesto crecimiento internacional y un estancamiento generalizado del comercio. A la par, la caída de los precios de petróleo debilitó las expectativas de los empresarios para invertir en el sector energético, reduciendo los ingresos petroleros que para el cierre del 2016 representaron sólo el 16.3% de los ingresos totales del sector público. Lograr un crecimiento sostenido de la economía mexicana, requiere de un sector eléctrico robusto y confiable, que permita llevar a cabo todas las actividades productivas necesarias para el desarrollo del país, y es justo por eso que se torna importante conocer el impacto que podría tener la generación de energía eléctrica en el crecimiento económico y a su vez en las exportaciones y en los precios para saber cómo podría llegar a afectar al consumidor (SENER, 2017).

Contar con una infraestructura confiable que garantice el abastecimien-

to de la energía eléctrica, es uno de los objetivos que ha tenido la economía mexicana en los últimos años en su planeación energética, donde esta energía, además de ser más amigable con el medio ambiente, debe ser lo más económica posible. La importancia de contar con una mayor diversificación en las fuentes de generación de energía eléctrica significa una mayor inclusión de energías renovables, cuyos costos se han reducido notablemente, y el máximo aprovechamiento de energías convencionales, como es el caso del gas natural que en los últimos años ha presentado una alta disponibilidad y bajos precios, por lo que se ha promovido el desarrollo de infraestructura de transporte del combustible y elevar así, la generación eléctrica con nuevos proyectos o la reconversión de algunas centrales, a partir de este combustible.

Actualmente, la generación de energía en México se encuentra más diversificada que en años anteriores, ahora existe una mayor participación de otras tecnologías limpias como cogeneración eficiente y bioenergía. En 2006 la generación de energía eléctrica fue de 254,906.3 GWh de los cuales el 81.1% de la energía provenía de tecnologías que empleaban combustibles fósiles. Al cierre de 2016, la generación bruta se ubicó en 319,363.5 GWh, lo que representó un crecimiento medio anual de 2.4%, con una mayor participación de tecnologías limpias de 20.3% del total de la matriz de generación. Las tecnologías con mayor crecimiento a lo largo de la década, fueron la eólica con 100.4% y cogeneración eficiente con 48.5% anualmente. Por otro lado, las centrales de tecnología Termoeléctrica convencional presentaron una tasa de decrecimiento anual de 4.8%, reduciendo su generación eléctrica en aproximadamente 16,164.8 GWh. Al cierre de 2016, 79.7% de la generación eléctrica provino de tecnologías convencionales, mientras que el restante 20.3% fue de tecnologías limpias (SENER, 2017).

II REVISIÓN DE LITERATURA

Exportaciones y crecimiento económico

Es convencional entre los responsables de políticas y académicos que consideren a las exportaciones como un factor clave en la promoción del crecimiento económico en los países en desarrollo; hay varios argumentos teóricos que apoyan esta hipótesis. Desde la perspectiva de la demanda, se argumenta que el crecimiento sostenido no se puede mantener en los mercados nacionales debido a su reducido tamaño. Los mercados de exportación, por el contrario, son casi ilimitados y por lo tanto no implican restricciones de crecimiento en el lado de la demanda, lo que implica que pueden actuar como un catalizador para el crecimiento de la producción a través de una expansión de la demanda agregada (Siliverstovs y Herzer, 2007). Este es el efecto de crecimiento directo e intuitivamente obvio de las exportaciones que no necesita de mayor investigación.

Hay varias formas en que las exportaciones pueden afectar la productividad. En primer lugar, las exportaciones pueden proporcionar las divisas para financiar las importaciones que incorporan el conocimiento de la tecnología extranjera y la producción de conocimientos, promoviendo así la difusión de conocimientos transfronterizos (Grossman y Helpman, 1991). En segundo lugar, las exportaciones pueden aumentar la productividad mediante la concentración de la inversión en los sectores más eficientes de una economía, aquellos en los que el país tiene una ventaja comparativa (Kunst y Marín, 1989). En tercer lugar, ya que combinando el mercado internacional con el mercado interno se facilitan las operaciones de mayor escala más que el mercado nacional por sí solo, una expansión de las exportaciones permite que los países se beneficien de las economías de escala (Helpman y Krugman, 1985). En cuarto lugar, y quizás lo más importante, el sector exportador puede generar externalidades positivas en el sector no exportador (Feder, 1983). Las fuentes de estos derrames de conocimiento incluyen, por un lado, los incentivos para mejoras tecnológicas, capacitación laboral y una gestión más eficiente debido a la creciente competencia internacional y, por otro lado, acceso directo al conocimiento extranjero a través de las relaciones con los compradores extranjeros (Chuang, 1998).

Varios argumentos sugieren, sin embargo, que los efectos positivos de productividad previstos por la hipótesis *export-led-growth* no necesariamente se producen en los países en desarrollo. Una preocupación es que muchos países en desarrollo dependen en gran medida de las exportaciones de productos primarios. Tales exportaciones pueden llevar economías a alejarse de los sectores de fabricación competitivos en los que se generan muchas externalidades necesarias para el crecimiento sostenible, mientras que el sector exportador primario no tiene por sí mismo muchos vínculos con la economía, así como tampoco derramas en la misma (Sachs y Warner, 1995; Herzer, 2007). Por otra parte, las exportaciones de bienes primarios tienden a ser objeto de grandes fluctuaciones de precio y volumen. Por lo tanto, un aumento de las exportaciones puede dar lugar a un aumento de la incertidumbre macroeconómica, lo que a su vez, pueden obstaculizar los esfuerzos para la planificación económica y reducir la cantidad, así como la eficiencia de la inversión interna (Dawe, 1996).

Por último, muchos países en desarrollo están sujetos a las regulaciones empresariales y laborales excesivas que limitan tanto la movilidad de los factores entre sectores y la flexibilidad de los precios de los factores (Banco Mundial, 2009). En tal escenario de graves imperfecciones de mercado, un aumento en las exportaciones puede estar asociado con desempleo o subempleo y, en consecuencia, con pérdidas de productividad (Edwards, 1988).

Generación de electricidad y crecimiento económico

La relación causal entre la generación de electricidad y el crecimiento económico ha sido poco investigada en la literatura. Yoo y Kim (2006) para Indonesia encontraron que existe una relación de causalidad unidireccional del crecimiento económico hacia la generación de electricidad. Después en Lean y Smith (2010), en un estudio de causalidad de Granger para Malasia llegaron a la misma conclusión de una relación de causalidad unidireccional del crecimiento económico hacia la generación de electricidad. Sin embargo, Sarker y Alam (2010) encontraron una relación de causalidad también unidireccional pero en el sentido contrario, esto es, de la generación de electricidad hacia el crecimiento económico para Bangladesh. Ohler y Fetters (2014) realizan un estudio con datos panel para 20 países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), donde analizaron la relación de causalidad entre la generación de electricidad a partir de fuentes renovables y el crecimiento económico, y encontraron una relación bidireccional entre las variables. Más recientemente, Awad y Yossof (2016) presentan un análisis de cointegración para Sudan y analizaron la relación de causalidad para la producción de electricidad, el crecimiento económico y empleo. Encontraron evidencia de la existencia de una relación de causalidad bidireccional entre la generación de electricidad y el crecimiento económico en el corto y largo plazo. Siguiendo la tendencia de la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, los resultados de Atems y Hotaling (2018) para un modelo con datos panel de 174 países, indican una fuerte relación positiva y estadísticamente significativa entre la generación de electricidad renovable y no renovable, y el crecimiento.

Como se ha visto en la literatura, esta relación de causalidad puede ir desde la generación de electricidad hacia el crecimiento económico y / o desde el crecimiento económico hacia la generación de electricidad. Estos problemas de no consenso en el sentido de la causalidad sugieren la necesidad de llevar a cabo una investigación más profunda. Una pregunta importante sobre este tema es qué variable debe prevalecer sobre la otra: ¿la generación de electricidad es un estímulo para el crecimiento económico o el crecimiento económico conduce a un aumento en la generación de electricidad?

La evidencia de cada lado tendrá una influencia significativa en la creación de políticas. Si, por ejemplo, existe una causalidad unidireccional que va desde la generación de electricidad hasta el crecimiento económico, la reducción de la generación de electricidad podría conducir a una caída en el crecimiento económico. Por otro lado, si una causalidad unidireccional va desde el crecimiento económico hasta la generación de electricidad, podría implicar que las políticas para reducir la generación de electricidad puedan implementarse con poco o ningún efecto adverso sobre el crecimiento económico. Por último, ninguna causalidad en ninguna dirección indicaría que las políticas para

aumentar la generación de electricidad no afecten el crecimiento económico.

La relación causal entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico ha sido sintetizada en cuatro hipótesis comprobables dentro de la literatura (Mehrara, 2007; Narayan y Smith, 2009; Lean y Smith, 2010; Payne, 2010; Sadorsky, 2011), que podrían ser aplicables también para el caso de la generación de energía eléctrica. En primer lugar, la hipótesis de un crecimiento afirma causalidad unidireccional desde la energía hacia el crecimiento económico. En este caso, la reducción de generación de electricidad debido a las políticas orientadas a la conservación de la electricidad puede llegar a tener un impacto negativo en el crecimiento económico. En segundo lugar, la hipótesis de la conservación postula causalidad unidireccional de crecimiento económico hacia la energía. En esta situación, las políticas de conservación de electricidad destinadas a reducir la generación de electricidad tendrán poco o ningún efecto sobre el crecimiento económico. En tercer lugar, la hipótesis de la neutralidad sugiere la ausencia de una relación causal entre la energía y el crecimiento económico. La implicación de la hipótesis de la neutralidad es que las políticas de conservación de la electricidad no tendrían ningún efecto sobre el crecimiento económico.

En cuarto lugar, la hipótesis de retroalimentación hace hincapié en la relación de interdependencia entre la energía y el crecimiento económico en el que la causalidad corre en ambas direcciones. Por lo tanto, bajo la hipótesis de retroalimentación, una política energética orientada a la mejora de la eficiencia de la generación de electricidad puede no afectar adversamente el crecimiento económico.

Para una mejor comprensión de esta relación este estudio tendrá como fundamento los resultados del trabajo de Payne (2010), dónde se dio a la tarea de realizar una revisión de literatura que analiza la relación entre las variables consumo de electricidad-crecimiento económico y en algunos casos variables extra como las exportaciones. Las principales conclusiones de su trabajo hablan del hecho de que la comprensión de la relación causal entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico proporciona una base para el debate sobre el diseño y la aplicación adecuada de las políticas medioambientales y energéticas. No es de extrañar que los resultados empíricos hayan arrojado resultados mixtos en términos de las cuatro hipótesis (crecimiento, la conservación, la neutralidad, y retroalimentación) relacionados con la relación causal entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico. La variación en los resultados empíricos se puede atribuir a la selección de variables, las especificaciones del modelo, períodos de tiempo de los estudios, y los enfoques econométricos realizados.

Energía y comercio

A pesar del hecho de que existe una vasta literatura para la relación entre energía y crecimiento económico (PIB) e incluso aún más para la relación crecimiento económico-comercio como se ha visto en apartados anteriores de este estudio, se ha explorado muy poco la conexión entre comercio y energía. Narayan y Smith (2009) examinan la relación causal entre consumo de electricidad, exportaciones y PIB para un panel de 6 países de Medio Este de 1974-2002 y sus resultados muestran que estadísticamente existe una relación entre esas variables, un aumento del 1 por ciento del consumo de electricidad aumenta el PIB en un 0,04 por ciento, un aumento del 1 por ciento de las exportaciones aumenta el PIB en un 0,17 por ciento y un aumento del 1 por ciento del PIB genera un aumento del 0,95 por ciento en el consumo de electricidad.

La relación entre la energía y el comercio es un tema que recién ha comenzado a ser estudiado, Sadorsky (2011), menciona que es importante por varias razones. Si se encuentra que el consumo de energía causa exportaciones o importaciones en el sentido de Granger, entonces cualquier reducción en el consumo de energía, procedentes por decir de las políticas de conservación de la energía, reducirá las exportaciones o las importaciones y disminuirán los beneficios del comercio. Políticas de conservación energética que reduzcan el consumo de energía compensará las políticas de liberalización del comercio destinadas a promover el crecimiento económico. Esto coloca a las políticas de conservación de la energía en desacuerdo con las políticas de liberalización del comercio. Si se encuentra una relación de causalidad de Granger en un sentido, de las exportaciones o importaciones a la energía, entonces las políticas de conservación de la energía no afectarán a las políticas de liberalización del comercio diseñadas para aumentar el crecimiento económico.

Una aguda escasez de fuentes de energía en los países en desarrollo ha demostrado que la energía se ha convertido en un insumo obligatorio para cualquier proceso de producción. La generación de energía, siendo un insumo vital en el proceso de producción, afecta directamente al PIB. La disponibilidad de energía a un costo razonable mejora la competitividad de los productos locales en el mercado internacional, aumenta las exportaciones y afecta al PIB indirectamente. Además, la demanda de maquinaria pesada y componentes básicos para el crecimiento industrial también depende de un suministro suficiente de energía (Shakeel et al., 2013).

En teoría, hay un número de razones sobre cómo las exportaciones pueden afectar el consumo y generación de energía. La expansión de las exportaciones aumenta la demanda de los factores de producción (capital, trabajo, energía) que se utilizan para hacer las exportaciones. Una vez que se producen las exportaciones, maquinaria y equipo se deben usar para cargar y transportar las exportaciones a los puertos marítimos, aeropuertos y otras estaciones de

conexión donde las exportaciones son descargadas y re-cargadas para los viajes al extranjero. La maquinaria y equipos utilizados en la producción, procesamiento y transporte de mercancías para la exportación requieren energía para funcionar. Un aumento de las exportaciones representa un aumento de la actividad económica en los sectores orientados a la exportación, lo que debería aumentar la demanda de energía (Sadorsky, 2011).

Después el mismo Sadorsky (2012), menciona que también es posible que los cambios en el consumo de energía afecten a las exportaciones porque la energía es un insumo importante en la producción de mercancías destinadas a la exportación. La producción de las exportaciones requiere factores de producción como el capital, el trabajo y la energía. Una dramática disminución en el consumo de energía, por ejemplo, un programa de conservación de la energía, podría afectar a la capacidad de producir bienes para la exportación. También es posible que exista una relación de retroalimentación entre la energía y las exportaciones, donde la energía es importante para explicar los movimientos de las exportaciones y las exportaciones son importantes para explicar los movimientos de la demanda energética. En este caso, el consumo de energía y las exportaciones comparten interdependencia y efectos complementarios. También es posible que la relación entre la energía y las exportaciones sea neutral. En este caso, la correlación entre el consumo de energía y las exportaciones sería tan pequeña que no se presentaría como una relación estadísticamente significativa en los niveles de las pruebas convencionales.

El desarrollo del sector energético está íntimamente ligado con el crecimiento económico y social en México, ya que la energía es insumo en todos los sectores de la economía, por ejemplo: para el transporte de personas y mercancías, la producción de manufacturas y el funcionamiento de establecimientos comerciales, de servicios, fábricas y hogares. La importancia que tiene en las finanzas públicas y en el comercio exterior también lo convierte en una instancia estratégica.

III DATOS Y MODELOS ECONOMETRICOS

En esta sección primero se mencionan los datos que fueron empleados y después los modelos econométricos usados en esta investigación.

Datos

El periodo a analizar en esta investigación comprende 36 observaciones, de 1980 a 2015 para México. La generación de electricidad (EG) fue medida en millones de kW, con datos obtenidos de Agencia Internacional de Energía (AIE); el PIB (Y) y las exportaciones (EX) expresados en dólares a precios constantes del año 2010 con datos del Banco Mundial; y finalmente, el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) (P) fue obtenido del Banco de

México y fue seleccionado debido a que se encuentra estrechamente relacionado con los precios de la electricidad. Un incremento en los precios de la energía eléctrica tiene efectos en los diversos sectores de la producción, incrementando los costos de los bienes y servicios.

Modelos

En primera instancia se aplicaron las pruebas de raíz unitaria de Augmented Dickey Fuller (ADF) y Phillips y Perron (PP) para determinar el orden de integración de las variables. Después se realizó el análisis de cointegración entre las variables utilizando la prueba de cointegración de Johansen. Esta prueba implica la investigación de la existencia de una relación de largo plazo entre las variables consumo de electricidad, el PIB real, las exportaciones y el INPC. También se estimó un modelo de corrección de errores sin restricciones, en el cual se analizaron las relaciones de causalidad en el corto y largo plazo para las variables.

Resultados

En la sección anterior se han definido los métodos utilizados para llevar a cabo esta investigación, ahora en este apartado se muestran los resultados que se obtuvieron una vez que se aplicaron las pruebas que se describen a continuación.

Pruebas de raíz unitaria

Cuando hablamos de una secuencia de valores ordenados cronológicamente a lo largo del tiempo la denominamos serie de tiempo. Al realizar estudios con series de tiempo, es posible encontrar secuencias estacionarias y no estacionarias. Una serie de tiempo es estacionaria si su distribución es constante a lo largo del tiempo (la media, varianza y covarianza son constantes en el tiempo) (Gujarati, 2010). Sin embargo, muchas de las series de tiempo que se analizan no cumplen con la condición de estacionariedad (series con raíz unitaria) cuando tienen una tendencia estocástica.

Cuando no se cumple la condición de estacionariedad se pueden presentar problemas serios, consistentes en que dos variables completamente independientes pueden aparecer como significativamente asociadas entre sí en una regresión, únicamente por tener ambas una tendencia y crecer a lo largo del tiempo; estos casos fueron denominados por Granger y Newbold (1974), como “regresiones espurias”.

Prueba Dickey-Fuller Aumentada (ADF)

Por lo anterior, en este estudio se ha llevado a cabo la prueba ADF para determinar el orden de integración de las series. Las cuatro variables, PIB, genera-

ción eléctrica, exportaciones e INPC, presentan raíz unitaria en niveles pero son estacionarias en primeras diferencias como se puede observar en la tabla 1.

Prueba de Philips-Perron (PP)

Los resultados obtenidos en la prueba PP, mostrados en la tabla 1, coinciden con los mostrados en la prueba ADF: las variables presentan raíz unitaria en niveles, pero son estacionarias en primeras diferencias, por lo cual se concluye que las variables son integradas de orden uno.

Variables	Prueba ADF		Prueba PP	
	Niveles	Primeras diferencias	Niveles	Primeras diferencias
LEG	-1.0699(0.91)	-5.2355(0.00)	-0.9218(0.94)	-5.2355(0.00)
LPIB	-2.6857(0.24)	-6.1970(0.00)	-2.6003(0.28)	-6.2716(0.00)
LEXP	-1.2581(0.88)	-4.6669(0.00)	-1.4565(0.82)	-4.6669(0.00)
LINPC	-1.8432(0.66)	-3.8100(0.02)	-1.7255(0.71)	-3.8597(0.02)

Valores P mostrados en paréntesis.
 Fuente: Elaboración propia

Pruebas de cointegración

La regresión de una variable de serie de tiempo sobre una o más variables de series de tiempo a menudo puede dar resultados sin sentido o espurios. Este fenómeno se conoce como regresión espuria. Una forma de evitarla es establecer si las series de tiempo están cointegradas. Cointegración significa que, a pesar de no ser estacionarias en un nivel individual, una combinación lineal de dos o más series de tiempo puede ser estacionaria. Las pruebas Engle-Granger (EG) y de Johansen, sirven para averiguar si dos o más series de tiempo están cointegradas. La cointegración de dos (o más) series de tiempo indica que existe una relación de largo plazo, o de equilibrio, entre ellas. En tanto se verifique que los residuos de las regresiones son I(0) o estacionarios, la metodología tradicional de regresión (inclusive las pruebas t y F) es aplicable a las series de tiempo (no estacionarias) (Gujarati, 2010).

La prueba de cointegración de Johansen (1995), determina el número de vectores de cointegración. Esta prueba indica si existe o no cointegración entre las series analizadas por medio de la traza y del Valor *Eigen* máximo. En este estudio los resultados, mostrados en la tabla 2, indican que en estas series de tiempo al menos existe relación de cointegración a un nivel de significancia del 5%.

Tabla 2
Resultados de prueba de cointegración de Johansen

Número de ecuaciones de cointegración (r)	Prueba de traza	
	Estadístico de prueba	Valor crítico al 5%
Ninguno (r=0)	60.0112(0.01)	54.0790
Máximo 1 (r≤1)	34.9959(0.05)	35.1927

r denota el número de ecuaciones de cointegración, valores P mostrados en paréntesis.
Fuente: Elaboración propia.

Mecanismo de corrección de errores

Una vez que se demostró que las series de tiempo con las que se ha trabajado se encuentran cointegradas, es decir, que existe una relación de largo plazo o de equilibrio entre ellas, el Mecanismo de Corrección de errores (MCE) corrige el desequilibrio que puede existir en el corto plazo. Las ecuaciones utilizadas para las distintas regresiones se muestran a continuación:

Ecuación MCE PIB:

$$\Delta PIB = C + \beta_1 \Delta PIB_{t-1} + \beta_2 \Delta GE_{t-1} + \beta_3 \Delta EXP_{t-1} + \beta_4 \Delta INPC_{t-1} + \Delta u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Ecuación MCE Generación de electricidad

$$\Delta GE = C + \beta_1 \Delta GE_{t-1} + \beta_2 \Delta PIB_{t-1} + \beta_3 \Delta EXP_{t-1} + \beta_4 \Delta INPC_{t-1} + \Delta u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Ecuación MCE exportaciones:

$$\Delta EXP = C + \beta_1 \Delta EXP_{t-1} + \beta_2 \Delta PIB_{t-1} + \beta_3 \Delta GE_{t-1} + \beta_4 \Delta INPC_{t-1} + \Delta u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Ecuación MCE INPC:

$$\Delta INPC = C + \beta_1 \Delta INPC_{t-1} + \beta_2 \Delta PIB_{t-1} + \beta_3 \Delta EXP_{t-1} + \beta_4 \Delta GE_{t-1} + \Delta u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Donde:

GE : Generación de energía eléctrica

EXP: exportaciones

INPC: Índice Nacional del Precios al Consumidor

PIB: PIB

u_{t-1} : valor rezagado del término de error de la ecuación inicial

ε_t : término de error de ruido blanco

Tabla 3
 Resultados Vectores de corrección de error

Dependiente \ Explicativa	PIB	Generación electricidad	Exportaciones	INPC
PIB	-	0.0792	0.2333*	-1.7389**
Generación Electricidad	-0.3059***	-	0.7039**	2.6506*
Exportaciones	0.0528	0.0914*	-	-0.1220
INPC	-0.0037	0.0375*	-0.0461	-
et-1	-0.5022**	0.3519**	0.0641**	0.38

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos de los MCEs
 *1% de significancia **5% de significancia ***10% de significancia.

De acuerdo a los resultados de los vectores de corrección mostrados en la tabla 3, se puede observar que existe una relación de causalidad en el largo plazo de las variables generación eléctrica, exportaciones e INPC al PIB, el coeficiente de los residuos rezagados un periodo presenta el signo esperado, negativo y significativo (-0.5022) al 5%, es decir, que el desequilibrio que pueda existir entre estas variables se corrige alrededor del 50% en un año. En cuanto a las relaciones de largo plazo para el caso de la generación de electricidad y las exportaciones, como se puede observar en la tabla 3, los coeficientes del rezago son estadísticamente significativos pero no presentan el signo adecuado (negativo).

En el corto plazo se puede notar una relación de causalidad unidireccional de la generación de electricidad hacia al PIB y una relación de causalidad bidireccional entre la generación de electricidad y el comercio, lo que nos indica que una mayor generación de electricidad podría resultar en un aumento de exportaciones y viceversa, por lo tanto políticas de reducción de generación de electricidad, ambientales por ejemplo, podrían tener un efecto negativo en las exportaciones. Otra relación de causalidad bidireccional se puede observar entre la generación de electricidad-INPC, la cual tiene sentido, ya que por ejemplo una disminución en la generación podría llevar a un encarecimiento de los precios de la electricidad, provocando un aumento de precio en la mayoría de los productos y afectar así al INPC.

En cuanto al último par de variables, PIB-exportaciones, se puede ver una relación de causalidad unidireccional que va del PIB hacia las exportaciones, lo cual indica que un mayor crecimiento económico provocará un aumento en las exportaciones.

Una vez realizados los modelos de corrección de errores, fue necesario comprobar que estos cumplieran con los supuestos de un modelo de regresión lineal, y para dicho fin se llevaron a cabo las siguientes pruebas: de Ramsey,

de normalidad, de autocorrelación y de heteroscedasticidad; las cuales fueron satisfactorias (ver anexo 1).

En el siguiente apartado se muestran las conclusiones a las cuales se ha llegado después de haber realizado las distintas pruebas para poder probar la existencia de causalidad entre las distintas variables estudiadas para el caso de México a partir de 1970 al 2015.

IV CONCLUSIONES

Previo a aplicar las pruebas de causalidad, que es la parte fundamental de esta investigación, fue necesario estudiar las series de tiempo de las distintas variables de este trabajo: generación de energía eléctrica, exportaciones, INPC y PIB; en México para el periodo 1970-2015.

Utilizando modelos econométricos se llegó a la conclusión de que las series son integradas de orden uno. Una vez conocido el orden de integración de las series, se aplicaron pruebas de cointegración de las variables, las cuales mostraron que en efecto las series se encuentran cointegradas, es decir, que existe una relación de largo plazo entre las variables, por lo tanto se recurrió a utilizar el MCE que parte de la premisa de elaborar un modelo donde se trata el término de error como “error de equilibrio” con el cual es posible integrar el comportamiento en el corto plazo con el valor de largo plazo de las variables.

Para el caso de la relación exportaciones-PIB, los resultados muestran que para la economía mexicana existe una relación de causalidad unidireccional en el corto plazo que va del PIB hacia las exportaciones, lo que difiere un poco de la teoría *export led growth* que parte de la premisa de que las exportaciones causan crecimiento económico, pero es bien sabido que distintas investigaciones difieren en el sentido de las causalidades debido a las diferencias en cuanto a datos, países, periodos y metodologías empleados.

En cuanto a la relación entre las variables PIB-generación de electricidad, para el caso de México se encontró que existe una relación de causalidad unidireccional en el corto plazo que va de la generación de electricidad hacia el PIB, lo que brinda una razón más para que el país siga invirtiendo en infraestructura para una generación de electricidad más eficiente y a menor costo, ya que propicia el crecimiento económico. Para esta relación, al igual que la de exportaciones-PIB, no se ha llegado a un acuerdo de dirección de causalidad aplicable a todos los países, esto debido a distintos factores como la diferencia de datos utilizados, los periodos, los métodos empleados; por mencionar algunos, siendo lo importante que en efecto existe una relación entre estas variables y que la energía es un factor importante en el crecimiento económico, en este caso de México.

Para la relación generación de electricidad-INPC, los resultados muestran que existe una relación de causalidad bidireccional entre estas variables, situación que parecería obvia en cualquier economía, ya que una escasez de electri-

cidad podría propiciar un aumento en los precios de la misma, lo que elevaría los precios de los productos, ya que para la generación de la gran mayoría es necesaria una fuente de energía, principalmente la eléctrica. La disponibilidad de energía a un costo razonable mejora la competitividad de los productos locales en el mercado internacional, aumenta las exportaciones y afecta al PIB indirectamente.

Es importante resaltar la causalidad bidireccional en el corto plazo entre las exportaciones y la generación de energía, ya que brinda apoyo a la literatura que sugiere que el comercio y las exportaciones se encuentran ligadas, por lo tanto para la economía mexicana es importante seguir prestando atención a políticas que promuevan la generación de electricidad de manera más eficiente ya que esto promoverá el comercio internacional.

En el largo plazo también existe una relación de causalidad que va del IPC, comercio y generación de energía eléctrica al crecimiento económico.

Para futuras investigaciones sería interesante analizar la generación de energía desde las distintas formas de obtención de la misma, sobre todo hacer la distinción entre energía eléctrica proveniente de fuentes renovables, ya que en México, al igual que en otras economías, la energía renovable ha tenido un gran aumento debido a la creciente escasez de fuentes fósiles.

REFERENCIAS

- Awad, A. y Yossof, I. (2016). Electricity production, economic growth and Employment nexus in Sudan: a cointegration approach. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6, 6-13.
- Banco Mundial. (2009). Recuperado el 1 de Junio de 2016, de <http://datos.bancomundial.org/indicador/NE.EXP.GNFS.ZS>
- Chuang, Y. (1998). Learning by doing, the technology gap, and growth. *International Economics Review*, 39, 697-721.
- Dawe, D. (1996). A new look at the effects of export instability on investment and growth. *World Development*, 24, 1905-1914.
- Edwards, S. (1988). Terms of trade, tariffs, and labor-market adjustment in developing countries. *World Bank Economics Review*, 2, 165-185.
- Feder, G. (1983). On exports and economic growth. *Journal of Development Economics*, 12, 59-73.
- Gómez, M. y Rodríguez, J.C. (2015). Electricity consumption and economic growth: the case of Mexico". *International Journal of Social, Behavioral, Education and Management Engineering*, 9(8), 2803-2808.
- Gómez, M., Aitor, C., y Aihnoa, Z. (2018). Consumo de energía, crecimiento económico y comercio exterior: un análisis de causalidad para México. *Econoquantum*, 15 (1).
- Granger, C. (1969). Investigating causal relationships by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 424-438.

- Granger, C., y Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of econometrics*, 2, 111-120.
- Grossman, G., y E., H. (1991). *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge: MIT Press.
- Gujarati, D. N. (2010). *Econometría*. México: McGraw-Hill.
- Helpman, E., y P., K. (1985). *Market structure and foreign trade*. Cambridge: MIT Press.
- Herzer, D. (2007). How does trade composition affect productivity? Evidence for Chile. *Applied Econometrics Letters*, 14, 909-912.
- Johansen, S. (1995). A Statistical Analysis of Cointegration for I(2) Variables. *Econometric Theory*, 1, 25-59.
- Kunst, R., y Marin, D. (1989). On exports and productivity: a causal analysis. *Review of Economics and Statistics*, 71, 699-703.
- Lean, H. H., y Smyth, R. (2010). Multivariate Granger causality between electricity generation, exports, prices and GDP in Malaysia. *Energy*, 35, 3640-3648.
- Lee, C.-C. (2005). Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis. *Energy Economics*, 27, 415-427.
- Mehrara, M. (2007). Energy consumption and economic growth: The case of oil exporting countries. *Energy Policy*, 35, 2939-2945.
- Narayan, P. K., y Smyth, R. (2009). Multivariate granger causality between electricity consumption, exports and GDP: Evidence from a panel of Middle Eastern countries. *Energy Policy*, 37, 229-236.
- Ohler, A. y Fetters, I. (2014). The causal relationship between renewable electricity generation and GDP growth: A study of energy sources. *Energy Economics*, 43, 125-139.
- Omri, A., y Kahouli, B. (2014). Causal relationships between energy consumption, foreign direct investment and economic growth: Fresh evidence from dynamic simultaneous-equations models. *Energy Policy*, 67, 913-922.
- Payne, J. (2010). A survey of the electricity consumption-growth literature. *Applied Energy*, 87, 723-731.
- Sachs, J., y Warner, A. (1995). Natural resource abundance and economic growth. *NBER Working Paper* No. 5398.
- Sadorsky, P. (2011). Trade and energy consumption in the Middle East. *Energy Economics*, 33, 739-749.
- Sadorsky, P. (2012). Energy consumption, output and trade in South America. *Energy Economics*, 34, 476-488.
- Sarker, A. y Alam, K. (2010). Nexus between Electricity Generation and Economic Growth in Bangladesh. *Asian Social Science*, 12, 16-22.
- SENER. (2017). *Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031*. México: *Secretaría de Energía*.

- Shahbaz, M., Nasreen, S., Ling, C. H., y Sbia, R. (2014). Causality between trade openness and energy consumption: What causes what in high, middle and low income countries?. *Energy Policy*, 70, 126-143.
- Shakeel, M., Iqbal, M., y Tariq, M. (2013). Energy Consumption, Trade and GDP: A Case Study of South Asian Countries. *Journal of Economic Literature*, 1-23.
- Siliverstovs, B., y Herzer, D. (2007). Manufacturing exports, mining exports, and growth: cointegration and causality analysis for Chile (1960-2001). *Applied Econometrics*, 39, 153-167.
- Yoo, S-H. y Kim, Y. (2006). Electricity generation and economic growth in Indonesia. *Energy* 31, 2890-2899.

ANEXO

Tabla 4				
Resultados de pruebas MCEs				
MODELOS	Prueba de Ramsey	Prueba de normalidad Jarque-Bera	Prueba de autocorrelación Breusch-Godfrey	Prueba heteroscedasticidad White
MCE PIB	0.29 (0.77)	4.01 (0.13)	0.27 (0.75)	1.08 (0.38)
MCE GE	0.97 (0.33)	0.09 (0.95)	0.44 (0.64)	0.36 (0.86)
MCE INPC	0.86 (0.39)	3.64 (0.16)	0.15 (0.85)	1.11 (0.37)
MCE EXP	0.22 (0.82)	4.62 (0.08)	0.51 (0.60)	0.72 (0.60)

Valores P mostrados en paréntesis.
 Fuente: Elaboración propia.

