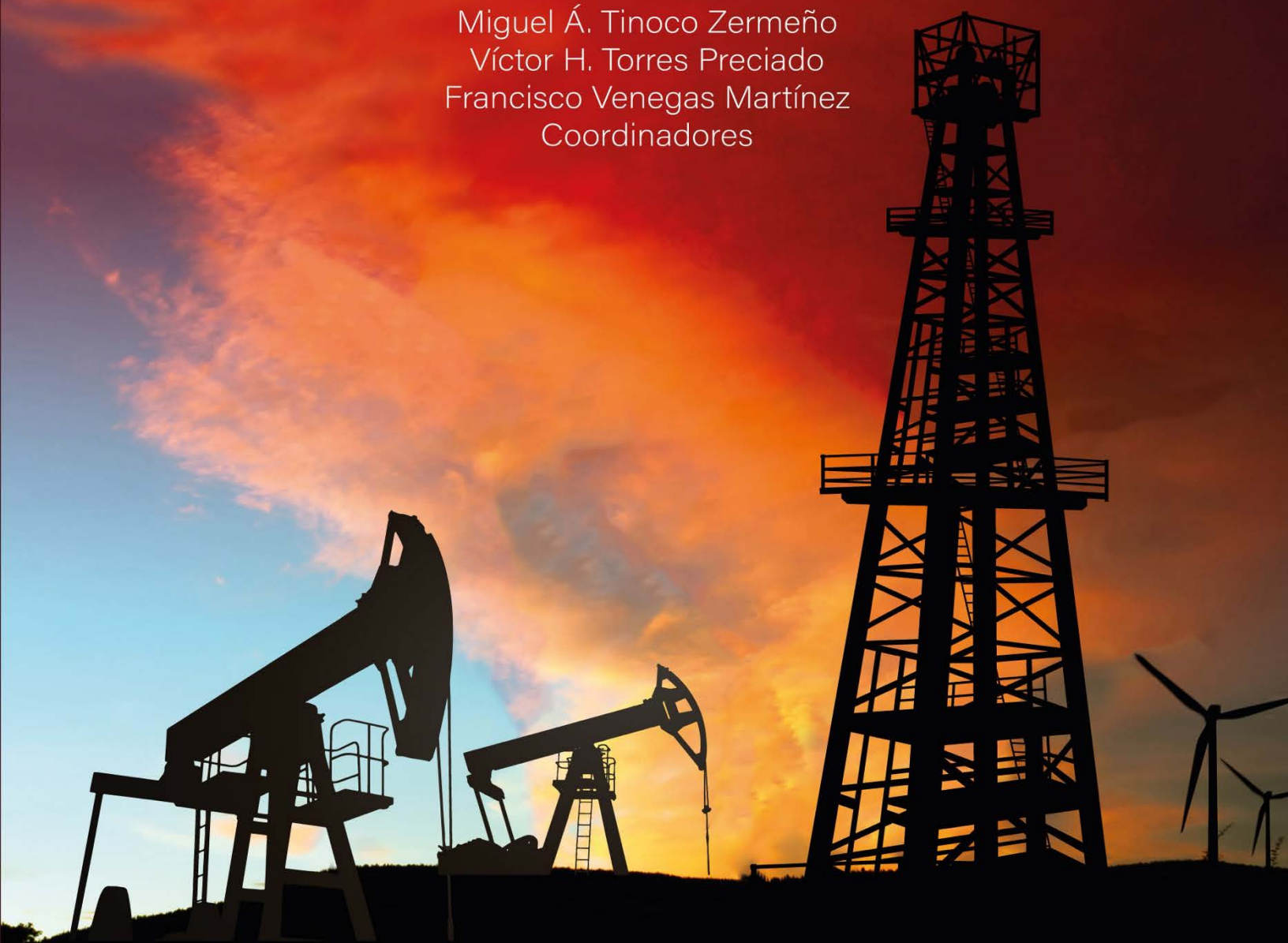


Los desafíos de la economía mexicana

Energía, política energética y crecimiento económico

Miguel Á. Tinoco Zermeño
Víctor H. Torres Preciado
Francisco Venegas Martínez
Coordinadores



UNIVERSIDAD DE COLIMA

Los desafíos de la
economía mexicana

Energía, política energética y crecimiento económico

enfoque académico

© UNIVERSIDAD DE COLIMA

Dr. Christian Jorge Torres Ortiz Zermeño, Rector

Mtro. Joel Nino Jr., Secretario General

Mtra. Vianey Amezcua Barajas, Coordinadora General de Comunicación Social

Mtra. Gloria Guillermina Araiza Torres, Directora General de Publicaciones

Los desafíos de la
economía mexicana

Energía, política energética y crecimiento económico

Miguel Ángel Tinoco Zermeño
Víctor Hugo Torres Preciado
Francisco Venegas Martínez

Coordinadores



UNIVERSIDAD DE COLIMA

© UNIVERSIDAD DE COLIMA
Avenida Universidad 333
C.P. 28040, Colima, Col., México
Dirección General de Publicaciones
Teléfonos: (312) 31 61081 y 31 61000, ext. 35004
Correo electrónico: publicaciones@ucol.mx

ISBN: 978-607-8814-07-7

Derechos reservados conforme a la ley
Impreso en México / *Printed in Mexico*

Proceso editorial certificado con normas ISO desde 2005
Dictaminación y edición registradas en el Sistema Editorial Electrónico PRED
Registro LI-15-20
Recibido: Octubre de 2020
Publicado: Octubre de 2021

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
Parte I: Energía y crecimiento económico	
CAPÍTULO 1	
Modelo de predicción de consumo de energía y crecimiento económico en México basado en un enfoque híbrido de inteligencia artificial y <i>wavelets</i>	19
<i>Jesús Cuauhtémoc Téllez Gaytán y Mauro Rodríguez Marín</i>	
CAPÍTULO 2	
Dinámicas, volatilidades e interrelaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica en México	57
<i>Antonio Ruiz Porras y Javier Emmanuel Anguiano Pita</i>	
CAPÍTULO 3	
Causalidad entre el consumo energético sectorial y el crecimiento económico	91
<i>Ricardo Pérez Navarro, L. Arturo Bernal Ponce e Isaí Guízar Mateos</i>	
CAPÍTULO 4	
La formación bruta de capital fijo y el uso de energías renovables y no renovables en las emisiones del CO ₂ en México: hipótesis de Kuznets	109
<i>Héctor F. Salazar Núñez, José Antonio Lozano Díez y Francisco Venegas Martínez</i>	
CAPÍTULO 5	
Efectos del precio del petróleo sobre las finanzas públicas y el crecimiento económico en México: 1990-2019	133
<i>Alejandro Fonseca Ramírez y Roberto J. Santillán Salgado</i>	
CAPÍTULO 6	
Pobreza y consumo de energía por entidad federativa en México	169
<i>Juan Marroquín Arreola y Humberto Ríos Bolívar</i>	

CAPÍTULO 7

Análisis de la demanda y el efecto de las reformas estructurales en la industria de gas natural en México para el periodo 1995-2020	199
<i>Ignacio Marcelino López Sandoval y Sergio Domínguez Reyna</i>	

CAPÍTULO 8

Efectos del índice de letalidad por Covid-19 y el tipo de cambio en la mezcla mexicana de petróleo de exportación	241
<i>Ricardo J. Mendoza Rivera, José Antonio Lozano Díez y Francisco Venegas Martínez</i>	

Parte II: Política energética

CAPÍTULO 9

La geografía económica del precio de los combustibles en México: un análisis exploratorio	257
<i>Víctor Hugo Torres Preciado y Leonardo Rebollar Ruelas</i>	

CAPÍTULO 10

Convergencia estocástica en el consumo de energía industrial en México	289
<i>Miguel Ángel Tinoco Zermeño y Renato Francisco González Sánchez</i>	

CAPÍTULO 11

La transición energética de México	315
<i>Gabriela Muñoz Meléndez</i>	

CAPÍTULO 12

La reforma energética y su influencia en la implementación de la energía solar en las PYMES con tarifa 02 en México	345
<i>Elda Vannessa Aguirre Hernández, Miguel Ángel Martínez García y José Carlos Trejo García</i>	

CAPÍTULO 13

“Sabemos construir presas, pero no tenemos la sensibilidad para tratar con personas”: administración pública, política y energía eléctrica en Chicoasén	371
<i>Martin J. Larsson</i>	

CAPÍTULO 14

Algunas simulaciones basadas en la función de producción agregada para enfrentar los choques de oferta y demanda ligados al coronavirus	401
--	-----

Carlos Guerrero de Lizardi

AUTORES	433
---------------	-----

Introducción

El dilema actual de las autoridades de muchos países es cómo lograr un crecimiento económico acelerado, con un uso eficiente de los recursos energéticos y bajos niveles de contaminación ambiental provocada por las emisiones de gases de efecto invernadero. No obstante, en el mundo, las necesidades energéticas y las emisiones contaminantes se dispararon desde la década de 1960. Según datos del Banco Mundial, entre 1971 y 2014 el consumo mundial per cápita de energía creció 44%, mientras que las emisiones mundiales por persona de dióxido de carbono aumentaron 56% entre 1960 y 2013. Por supuesto, la economía mexicana no está exenta de la disyuntiva entre energía y contaminación, dado que de 2020 a 2050 el consumo total de energía crecerá un 40% y las emisiones de CO₂ aumentarán al 32% ([APEC Secretariat, 2019](#)).

En dicho contexto, el objetivo del presente libro es evaluar el impacto del consumo de energía, con las consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero, en la actividad económica de México, así como también la influencia de la política energética. El libro está integrado por dos partes, la primera aborda el tema de energía y crecimiento, y la segunda se enfoca en la política energética.

La parte 1 incluye ocho capítulos, basados esencialmente en el análisis cuantitativo. El primer capítulo presenta un modelo de predicción del consumo de energía con base en un enfoque de inteligencia artificial y *wavelets*. Los resultados muestran que el consumo energético, principalmente del sector transporte, interactúa ampliamente con el crecimiento económico. Asimismo, la aplicación de un modelo SARI-MA ayuda a conocer la evolución del ciclo económico hasta 2035. El capítulo segundo estudia las dinámicas, volatilidades e interrelaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica de México. Un hallazgo principal de los autores es que las variaciones de la actividad económica están más correlacionadas con los precios del petróleo Maya que con los precios de la mezcla de exportación mexicana. El capítulo tres aborda la relación entre el consumo energético sectorial y el crecimiento económico en nuestro país. El objetivo de la investigación es examinar la relación de causalidad entre el consumo energético y la actividad económica, tanto a nivel agregado como por sectores de consumo. A nivel agregado, se confirma la relación, pero a nivel sectorial ocurre en los sectores comercial, residencial e industrial, mas no en el sector público o transporte. Por último, los autores sugieren diseñar estrategias para el uso eficiente en sectores donde la causalidad no es significativa, y no implementar regulaciones restrictivas en sectores donde no se pudo encontrar una causalidad significativa.

En el capítulo cuatro, los autores se enfocan en el impacto de la formación bruta de capital fijo (FBCF) y el uso de energía renovable y no renovable en las emisiones de dióxido de carbono, a fin de comprobar la denominada hipótesis de Kuznets. Con base en la metodología de cointegración de Engle y Granger, el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios Totalmente Modificados y la prueba de causalidad de Granger, demuestran que la FBCF y el consumo de energías explican las emisiones de CO en el corto y largo plazo, y que el parámetro asociado con la FBCF per cápita tiene la mayor influencia. Por otro lado, el siguiente capítulo presta atención a la influencia de los precios del petróleo sobre las finanzas públicas y el crecimiento económico de México durante el periodo 1990 a 2019. En este trabajo, los autores comprueban la existencia de una relación de causalidad en el sentido de Granger del precio del petróleo hacia la producción industrial y el gasto de capital, así como una relación de cointegración entre dichas variables.

El objetivo del sexto capítulo es analizar el vínculo entre los niveles de pobreza y el consumo de energía por entidad federativa en México. La evolución de los estudios sobre la pobreza va más allá de una definición monetaria, ya que implica una medida más integral que involucra la calidad de vida en general. Por esa razón, el papel de la energía se ha ido reconociendo como un aspecto importante en la interacción de la pobreza, debido a que si las personas no tienen acceso a fuentes de energía, se verán afectadas en sus condiciones de vida. El consumo de energía por parte de los hogares pobres para sus necesidades todavía está dominado por el uso de fuentes fósiles, por lo que el uso de energía es equivalente al crecimiento de gases efecto invernadero en la atmósfera, lo cual se convierte en un problema de cambio climático

con diversos efectos en la calidad ambiental. En esencia, los investigadores demuestran que el consumo de energía afecta negativamente los niveles de pobreza.

El capítulo siete estudia la demanda y las reformas estructurales en la industria de gas natural de México desde 1995 al 2020, mediante un análisis de los posibles efectos en la demanda nacional en función de las elasticidades. Como lo especifican los autores, las estimaciones del modelo econométrico de demanda de gas natural arrojan que la demanda nacional responde a los cambios en el precio y provoca cambios en la cantidad demandada el año siguiente. Adicionalmente, la demanda de gas natural es muy inelástica al precio, lo que se puede explicar por la alta dependencia de nuestro país de las importaciones que provienen de Estados Unidos.

Finalmente, el capítulo ocho cierra la primera parte del libro, en el cual los autores construyen un modelo del tipo ARDL para asociar el índice de letalidad por Covid-19 y el tipo de cambio en la mezcla mexicana de petróleo de exportación. Los resultados empíricos obtenidos muestran que el precio de mezcla mexicana es explicado por rezagos de uno y dos periodos de la misma variable. Además, el tipo de cambio tiene un efecto negativo sobre el precio de la mezcla mexicana. El último hallazgo importante es que el índice de letalidad tiene un efecto positivo sobre el precio de la mezcla mexicana, o sea, un incremento en el índice de letalidad conduce a un aumento en el precio de la mezcla, lo que se puede explicar por el optimismo futuro en los indicadores manufactureros en Asia y la Eurozona, y la contracción prevista en la producción de crudo de Estados Unidos.

La parte 2 engloba temas sobre la geografía económica del precio de los combustibles, la convergencia estocástica en el consumo de

energía industrial, la transición energética mexicana, la energía solar en las Pymes con tarifa 02, la política y energía eléctrica en la localidad de Chicoasén, y algunas simulaciones basadas en la función de producción agregada para enfrentar los choques de oferta y demanda ligados al Covid-19, pero también poniendo énfasis en el sector energético.

En el capítulo nueve se busca analizar los cambios en la geografía de los precios de la gasolina y el diésel en México, para identificar si han ocurrido cambios significativos en el patrón regional de la fijación de precios y, en su caso, examinar sus características e implicaciones económicas. Para lograr el propósito, se implementa el enfoque denominado Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), que permite identificar los cambios en los patrones de distribución y asociación espacial en el precio de los combustibles. Los resultados sugieren un cambio paulatino en el tipo de interacción espacial en la determinación de los precios de la gasolina y el diésel en el país, hacia una con alcance regional, pero acompañada por un aumento en la heterogeneidad en el precio de los combustibles.

En el capítulo diez, los autores evalúan la eficiencia en el consumo industrial en México mediante pruebas de convergencia condicional estocástica durante el periodo de 1965 a 2016, que abarca las grandes reformas energéticas. Se desglosa el consumo en el sector industrial en 16 ramas que corresponden a petroquímica de Pemex, siderurgia, química, azúcar, cemento, celulosa y papel, minería, vidrio, fertilizantes, cerveza y malta, aguas envasadas, automotriz, construcción, hule, tabaco y otras ramas. En segundo lugar, los investigadores aplican las pruebas de existencia de cortes estructurales, pruebas de raíces unitarias LM y RALS-LM para determinar la estacionariedad o no de las series. La conclusión general es que el consumo energético del sector

industrial es ineficiente, porque solamente siete de las 16 ramas industriales son estacionarias: petroquímica de Pemex, azúcar, minería, automotriz, construcción, hule y tabaco.

En el capítulo 11, la autora aborda el importante tema de la transición energética en México. Se entiende por transición energética un cambio estructural a largo plazo (alrededor de 100 años) de los sistemas energéticos primarios. Aunque el proceso de transición no muestra patrones definidos ni específicos, los factores comunes son el contexto histórico, el tamaño del país, el estado de la economía, el desarrollo tecnológico y la dependencia de importaciones. El capítulo analiza el estado actual y futuro de la transición energética en el país, en términos de la descarbonización de la matriz energética primaria, la mejora de la eficiencia energética, la reducción del consumo y los intercambios económicos energéticos.

En el capítulo 12, se presenta un análisis descriptivo referente a la interacción de los usuarios Pymes con tarifa 02, con relación a su comportamiento de registro en la generación distribuida y la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos a pequeña escala instalados durante el periodo 2014–2017, con base en el *Manual de interconexión a un Sistema Solar fotovoltaico* menor a 500 kW. Además, se considera la vertiente cualitativa en el estudio de conceptos clave como los precios y el consumo de energía eléctrica convencional, instrumentos de promoción de energías renovables, las políticas públicas y legislación secundaria que se desarrollaron a partir de la publicación de la Reforma Energética de 2013 y el papel de la energía eléctrica como estrategia en la economía nacional.

En el penúltimo capítulo, el autor analiza las interpretaciones propuestas por los actores involucrados en las negociaciones en torno

a una nueva presa hidroeléctrica en el municipio de Chicoasén, Chiapas, desde la perspectiva antropológica. El énfasis está en las maneras de conceptualizar “el pueblo” y su relación con la noción local de “la política”, lo que muestra la existencia de diferentes perspectivas éticas. La finalidad del análisis del capítulo, y la discusión conceptual que conlleva, es de carácter aplicado: se trata de mejorar el entendimiento de la política práctica en torno a la energía, para así mejorar las posibilidades de llevar a cabo un diálogo entre las partes involucradas en proyectos energéticos, en situaciones parecidas.

En el último capítulo, el autor realiza algunas simulaciones basadas en la función de producción agregada para enfrentar los choques de oferta y demanda ligados a la pandemia del coronavirus. En primer lugar, aborda algunos detalles del modelo de Solow que no han sido suficientemente apreciados por la literatura relacionada. Después, realiza un análisis econométrico con las series de tiempo del proyecto KLEMS del INEGI. En tercer lugar, con base en la metodología de la SHCP, replica su estimación del PIB potencial y el ciclo económico. Un siguiente objetivo es evaluar algunas simulaciones de la trayectoria del PIB en volumen y de los requerimientos de capital, según las metas de crecimiento económico a lo largo de la administración del presidente López Obrador y según otros escenarios. Con base en los escenarios anteriores, se podrían delinear las perspectivas energéticas de la economía mexicana.

Referencia

Asia Pacific Economic Cooperation Secretariat (2019), *APEC energy demand and supply outlook*, 7th edition, Singapur.

PARTE 1

Energía y crecimiento económico

CAPÍTULO 1

Modelo de predicción de consumo de energía y crecimiento económico en México basado en un enfoque híbrido de inteligencia artificial y *wavelets*

Jesús Cuauhtémoc Téllez Gaytán
Mauro Rodríguez Marín

La evolución de los mercados hacia una economía más libre en la que los roles del productor y el consumidor se solapan e incluso llegan a confundirse, está llegando al sector energético. La diversificación de la producción o la capacidad de alterar los patrones de consumo hacen que la participación en los mercados energéticos y la operación de los sistemas deban dar un paso adelante para gestionar de forma eficiente esta dinamización de los comportamientos. Es por ello que la predicción de la demanda es una información crucial a la hora de gestionar la realización de ofertas tanto de compra como de venta en el mercado energético.

Los actuales niveles de consumo de energía en México asociados fundamentalmente al crecimiento económico han sido importantes en términos del uso intensivo. De acuerdo con el Programa de Desarrollo de Naciones Unidas, México es uno de los países más intensivos en el uso de la energía. Por ejemplo, por cada dólar se emplean 8.7 megajoules, en comparación con países como Estados Unidos, Japón, China y la Unión Europea, los cuales han alcanzado niveles de 10 megajoules en promedio por cada dólar ([Aguayo y Gallagher, 2005](#)).

En efecto, los requerimientos energéticos de la economía por unidad de producto (residencial, comercial, público, de transporte, etcétera) son ciertamente importantes; de tal modo que una recuperación sostenida del ritmo de crecimiento económico se vería acompañada por una creciente demanda de energía con consecuencias negativas para el medio ambiente. En particular desde el punto de vista ambiental, destaca el efecto dañino en los niveles actuales de consumo energético. Toda vez que la oferta actual de energía en México se basa, en su mayoría, en el uso de recursos no renovables como el petróleo. En este sentido, las condiciones de su consumo actual resultarían inconsistentes con las definiciones de sustentabilidad débil y fuerte, también conocida como la regla de Hartwick ([Hartwick, 1977](#)).

Reflejo del creciente consumo de energía en México, éste ha crecido de forma polinomial. En la década de 1960 el consumo promedió 2,511 petajoules y pasó a 4,484 en los años 80. Después aumentó en poco más del 10% a un nivel promedio de 4,899 en los 90. En el siglo actual se tiene registrado que el promedio anual de consumo ha sido de 6,574 petajoules, un incremento en más del 46%. Al menos del 2008 al 2018, el consumo total energético creció en 7.52%, destacando que el componente no energético mostró una variación negativa del 49.91%.

Entre los sectores por consumo energético, resalta el comercial con un incremento del 33.36%, en tanto que el residencial sufrió una ligera variación negativa de 0.38%. A todo ello, el crecimiento económico de México mostró un promedio anual de 2.08%, con su peor y mejor variación porcentual en 2009 y 2010 del -6.3% y 6.8%, respectivamente.

Por lo anterior, surge la interrogante de la posible relación y contribución que el consumo de energía tiene en el crecimiento económico de todo país, en particular de México. Citando a [Sadr *et al.* \(2012\)](#), se podrían otorgar dos respuestas a dicha relación. La primera es un punto de vista que establece que el consumo de energía es un factor limitante del crecimiento económico. Por otro lado, la segunda respuesta alude a la hipótesis de neutralidad, la cual establece que el consumo de energía representa un costo de baja proporción respecto del Producto Interno Bruto, por lo que no debería tener un impacto significativo sobre el crecimiento económico. Más aun, reconocen que el posible impacto dependerá de la estructura de un país y la etapa en la que se encuentra el crecimiento económico.

De esa manera, el presente documento investiga la interacción del consumo total de energía y sus desagregados, con el crecimiento económico de México en el periodo de 1966 a 2018. Se utiliza un enfoque de análisis híbrido combinando la descomposición por multiresolución (MRD, por sus siglas en inglés) a través de funciones especiales llamadas *wavelets* con técnicas de inteligencia artificial como una red neuronal (NN, por sus siglas en inglés) de propagación hacia atrás y modelo de predicción SARIMA. El MRD permite descomponer una serie de tiempo en diferentes niveles de resolución, en donde cada nivel representa una ventana de tiempo de diferente duración que captura las frecuencias altas y bajas que ocurren en una señal (serie de tiempo).

Hecho eso se estima la función de coherencia *wavelet* para identificar el grado de interacción que cada tipo de consumo ha mantenido con el crecimiento económico. Enseguida, se estima una red neuronal para conocer por nivel de resolución, aquel con mayor porcentaje de certeza en su capacidad de predicción del crecimiento económico. Finalmente, se aplica el modelo SARIMA para pronosticar las variables y reconocer la posible trayectoria del crecimiento.

En seguimiento al enfoque propuesto, el documento se divide en las siguientes secciones. La primera sección corresponde a la revisión de literatura en estudios recientes de la relación del crecimiento con el consumo de energía. Se contempla a la vez, aplicaciones del enfoque de *wavelets* en la predicción de variables económico-financieras. Posteriormente, se describen los datos y metodología de estudio, la cual hace hincapié en describir la descomposición por multiresolución. En tercer lugar, se presentan y analizan los resultados. Finalmente, la cuarta sección proporciona las conclusiones y discusión de los resultados.

Revisión de la literatura

Estudios sobre la relación entre crecimiento económico y consumo de energía han encontrado mayormente una correspondencia unidireccional y otros casos sin correlación alguna. [Lee y Chang \(2007\)](#) analizan la relación para 22 países desarrollados y 18 en desarrollo, a través de un panel de vectores autorregresivos. En dicho estudio, los países desarrollados mostraron relación bidireccional, en tanto que los países en desarrollo mostraron sentido unidireccional. Previamente, [Lee \(2005\)](#) encontró una relación unidireccional de largo plazo del consumo de energía al crecimiento económico en 18 países desarrollados.

En ese mismo contexto, [Adhikari y Chen \(2012\)](#) utilizan un panel de cointegración para 80 países desarrollados; sus resultados muestran que los países de ingreso medio-alto y medio-bajo, reflejan una relación fuerte que se mueve en la dirección del consumo de energía al crecimiento económico. Sin embargo, los países de ingreso bajo mostraron un sentido contrario del crecimiento económico hacia el consumo de energía. Al respecto, sostienen que a largo plazo el consumo de energía es un factor de importante contribución sobre el crecimiento económico; más aún, la relación entre países de ingreso medio-alto y medio-bajo, ha mostrado una rápida urbanización, industrialización e inversión en infraestructura, lo cual justifica un crecimiento económico altamente dependiente del consumo de energía.

De forma similar, [Omay *et al.* \(2012\)](#) analizan la relación del consumo de energía con crecimiento económico a través de un modelo ESTAR para los países del G7. Los resultados muestran que se presenta causalidad de Granger en el corto plazo en la dirección de consumo de energía a crecimiento económico sin importar que la fase del ciclo sea expansionista o contraccionista. Sin embargo, no encuentran que en el largo plazo el consumo de energía sea causa del crecimiento económico. Por ello, recomiendan la implementación de políticas energéticas sin que estas dañen la trayectoria de crecimiento en el largo plazo.

Por su parte, [Sadr *et al.* \(2012\)](#) identifican a través de vectores autorregresivos que en el corto plazo existe una relación unidireccional del crecimiento económico al consumo de energía en países exportadores de petróleo. No obstante, en algunos casos se evidenció que la relación es en el sentido del consumo de energía al ingreso. Argumentan que, ante un ingreso exógeno al consumo de energía, las políticas energéticas no tendrían efectos sobre el crecimiento económico.

Campo y Sarmiento (2013) encuentran para un grupo de 10 países de América Latina (excluido México) una relación bidireccional en el largo plazo entre consumo de energía y crecimiento económico. Por lo cual, argumentan que países como Argentina, Brasil y Chile, altamente dependientes del consumo de energía, podrían manifestar resultados desfavorables en su crecimiento económico si buscaran a través de sus políticas energéticas la conservación energética, toda vez que se han concentrado en una sola fuente de energía.

En el caso particular de México, Gómez y Rodríguez (2015) muestran evidencia mediante Vectores Autorregresivos de una relación unidireccional del crecimiento económico al consumo de energía, en el periodo 1971-2011. Por lo cual, se sostendría la hipótesis de conservación, la cual propone que el crecimiento económico causa al consumo de energía. En consecuencia, una política gubernamental de conservación energética tendría poco impacto en el crecimiento económico de México.

Shengfeng (2012) utiliza un modelo de vector de corrección de errores para analizar la relación entre el consumo de electricidad y crecimiento económico en China. Encuentra una relación unidireccional del consumo de electricidad al crecimiento, a lo cual sostiene que la producción de electricidad podría ser un factor limitante del crecimiento en China. Recomienda diversificar las fuentes de energía eléctrica, ya sea solar, eólica o nuclear; así como reducir el consumo de energía en industrias de bajo valor agregado e incrementar su proporción en industrias de servicios modernos. Finalmente, recomienda masificar el uso de productos de ahorro energético.

Contraste a los anteriores estudios que se han basado en modelos econométricos mayormente comunes, tales como vectores autorregre-

sivos y modelos de corrección de errores, [Ha et al. \(2018\)](#) utilizan el enfoque de *wavelets* para analizar la relación consumo de energía y crecimiento económico para diferentes horizontes de tiempo. Primeramente, descomponen las series de tiempo a través de la Transformada Wavelet Discreta de Máximo Traslape (MODWT, por sus siglas en inglés) para capturar las frecuencias altas de las series de tiempo que ocurren en el corto plazo y las frecuencias bajas que ocurren en el largo plazo. Seguidamente, en cada escala de tiempo, aplican pruebas de causalidad de Granger y de raíz unitaria. Los resultados muestran que, en un contexto global sin descomposición de las series de tiempo, se respaldaría la hipótesis de neutralidad, la cual establece que ante la falta de relación causal entre crecimiento económico y consumo de energía, la aplicación de políticas de conservación energética no afectaría el crecimiento económico. Sin embargo, bajo la descomposición encuentran que en el corto plazo (2 a 8 años) se presenta relación unidireccional del consumo de energía al crecimiento económico; en el mediano plazo (8 a 16 años) se detecta relación unidireccional del crecimiento económico al consumo de energía; finalmente, en el largo plazo (horizonte mayor a 16 años) se encuentra la relación bidireccional.

[Ha et al. \(2018\)](#) concluyen que se debe prestar atención en la formulación de políticas energéticas, debido a la “compleja” relación intertemporal entre energía y crecimiento, pues la implementación de medidas que reduzcan el consumo de energía generada por fuentes tradicionales, podría impactar negativamente en el desarrollo de China. Por ello recomiendan y manifiestan en el Plan de Acción Estratégica para el Desarrollo Energético (2014-2020), que las políticas energéticas se deberían enfocar en el desarrollo de tecnologías de eficiencia energética y de tecnologías verdes, más allá de buscar reducir el consu-

mo directo de energía total. Por otro lado, en un estudio similar, [Deniz \(2015\)](#) analiza la relación entre consumo de electricidad y crecimiento económico en mercados emergentes, entre ellos México, a través de la coherencia *wavelet* en el periodo 1971-2011. Los resultados muestran que el co-movimiento varía en diferentes ventanas de tiempo. China y Filipinas no mostraron co-movimiento entre ambas series de tiempo, a lo cual argumentan que sus gobiernos podrían abstenerse de políticas de conservación energética. Sin embargo, México y Argentina mostraron una relación fuerte en el largo plazo después del 2000; similar que Brasil, pero a partir de 1990. Brasil, por su parte, mostró interacción negativa de 1970 a 1990. Recientemente, en relación a la predicción de consumo de energía, [Dartmann et al. \(2019\)](#) realizaron un estudio con buenos resultados utilizando *machine learning*.

Datos y metodología

Para este estudio, los datos corresponden a la tasa de crecimiento del PIB de México y al consumo de energía total y sus niveles de desagregados. La muestra cubre los años de 1965 a 2018. La serie del crecimiento económico se obtuvo de la base de datos del Banco Mundial, en tanto que las series históricas de energía se descargaron del Sistema de Información de Energética de la Secretaría de Energía (SENER) de México.

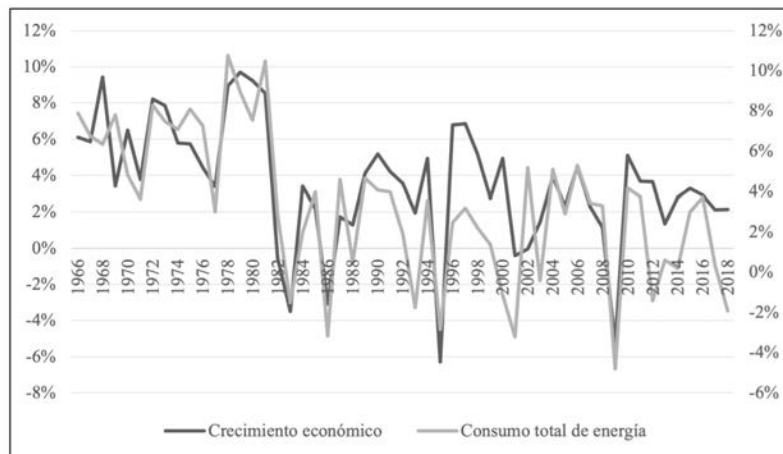
Las series históricas del consumo de energía y sus desagregados, se transformaron a variaciones porcentuales de la forma:

$$\Delta\%C = \left(\frac{C_1 - C_0}{C_0} \right) \times 100, \quad (1)$$

en donde C_1 es el consumo en el año actual y C_0 es el consumo en el año anterior.

La figura 1 muestra la evolución del crecimiento económico y el consumo total de energía, en donde se aprecia una relación estrecha entre ambas series de tiempo. Se observa la marcada relación entre crecimiento y consumo de energía en los años de 1994 y 2009, referentes a la crisis del peso mexicano y la crisis crediticia originada en Estados Unidos.

Figura 1
Evolución del crecimiento económico y consumo total de energía en México, 1966 a 2018



Fuente: elaboración de los autores.

Con base en los estudios recientes que aplican el enfoque de *wavelets*, este documento se enfoca en el análisis *wavelet* entre consumo de energía y crecimiento económico en México en tres etapas. La primera etapa consiste en la aplicación de la descomposición por multiresolución (MRD, por sus siglas en inglés) a través de funciones especiales llamadas *wavelets*, mismas que fungen como filtros de paso

para descomponer en diferentes escalas o niveles de resolución cada serie original. Una función *wavelet* es aquella que se describe por funciones base que conservan su característica oscilatoria y habilidad para permitir simultáneamente el análisis de tiempo y frecuencia, lo cual permite procesar los datos en diferentes escalas y resoluciones. Este tipo de análisis es como mirar el bosque (ventana grande) para detectar las grandes particularidades y a la vez mirar los árboles (ventanas pequeñas) para reconocer las pequeñas particularidades (Graps, 1995).

Las funciones *wavelets* consideran las propiedades de admisibilidad y regularidad. La primera se refiere al término “wave” en donde la transformada de *Fourier* permite que la función decaiga en la frecuencia cero, lo cual hace de la propiedad oscilatoria que representa una onda. La propiedad de regularidad se refiere al término “let” que corresponde a un decaimiento rápido, e implica que la función *wavelet* muestre suavización y concentración en el dominio del tiempo y frecuencia. Así, la función *wavelet* tiene N momentos de desvanecimiento u órdenes de aproximación. Como resumen, una función *wavelet* oscila y decae a cierto número de desvanecimientos o aproximaciones.

El análisis por *wavelets* en el análisis de frecuencias de *Fourier*, en donde una señal periódica $f(x)$ con periodo fundamental L puede expresarse como la suma de términos seno y coseno, de la forma:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{r=1}^{\infty} \left[a_r \cos \frac{2\pi r x}{L} + b_r \sin \frac{2\pi r x}{L} \right], -\infty \leq x + \infty, \quad (2)$$

en donde a_0 , a_r y b_r son números reales y $(2\pi r x)/L$ es la frecuencia fundamental o angular.

En contraste, la transformada *wavelet* descompone inicialmente la señal original en bandas de frecuencia y enseguida la analiza a través del tiempo. La expresión (3) representa la versión de dicha transformación:

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi * \frac{t - b}{a} dt, \quad (3)$$

donde a y b son los parámetros de dilatación y localización, respectivamente; y ψ es la función *wavelet*.

Ejemplo de una función *wavelet* es la función sombrero mexicano:

$$\psi(t) = (1 - t^2)e^{\frac{t^2}{2}}. \quad (4)$$

Daubechies (1988) desarrolló la versión discreta de las funciones *wavelet*, al expresar los parámetros de dilatación y traslación bajo las formas 2^j y $k2^j$, respectivamente, a través de los cuales es posible construir funciones base ortogonales con soporte compacto.

Una función $f(t)$ se puede representar a través de la secuencia de funciones *wavelet* $\psi(t)$ y de escalamiento $\phi(t)$ conforme a la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} f(t) = & \sum_k s_{j,k} \phi_{j,k}(t) + \sum_k d_{j,k} \phi_{j,k}(t) + \sum_k d_{j-1,k} \psi_{j-1,k}(t) + \dots \\ & + \sum_k d_{1,k} \psi_{1,k}(t), \end{aligned} \quad (5)$$

donde $s_{j,k}$ y $d_{j,k} \dots d_{1,k}$ son los coeficientes de la Transformada *Wavelet* (discretizada) contenidos en W (vector de coeficientes). Los coeficientes $s_{j,k}$, llamados de suavización, representan el comportamiento suave

implícito en la señal en escalas de tiempo 2^j ; en tanto, $d_{j,k}$ son los coeficientes de detalle que representan las desviaciones del comportamiento suave.

De esa forma, una función $f(t)$ se puede representar en términos de sus series de detalles en diferentes resoluciones de la forma,

$$D_j(t) = \sum_k d_{j,k} \psi_{j,k}(t), \forall j = 1, 2, \dots, J. \quad (6)$$

Y, respecto de sus variaciones suaves,

$$S_J(t) = \sum_k s_{j,k} \phi_{J,k}(t). \quad (7)$$

Por lo anterior, el resultado es el análisis por multiresolución de una serie de tiempo o señal:

$$f(t) = S_J(t) + D_J(t) + D_{J-1}(t) + \dots + D_1(t). \quad (8)$$

De forma seguida, se estima la correlación *wavelet* entre pares de las series originales descompuestas en diferentes niveles de resolución, en donde la correlación se define como:

$$\rho_x(\lambda_j) = \frac{\gamma_x(\lambda_j)}{v_1(\lambda_j)v_2(\lambda_j)}, \quad (9)$$

donde λ_j corresponde a la j -escala de tiempo, v_1 y v_2 corresponden a las varianzas de la serie de tiempo 1 y 2, respectivamente, y γ_x representa la covarianza de ambas series de tiempo.

Como tercer punto, se estima la Coherencia *Wavelet*, cuyas bases radican en la correlación *wavelet*. La coherencia *wavelet* permite

identificar a manera de mapa de calor, el grado de interacción entre dos series de tiempo en los diferentes niveles de resolución. De esa forma, se podrá reconocer en qué años se presentó mayor o menor grado de interacción entre las series de tiempo, e identificar las ventanas de tiempo en que dicho grado de asociación se presenta.

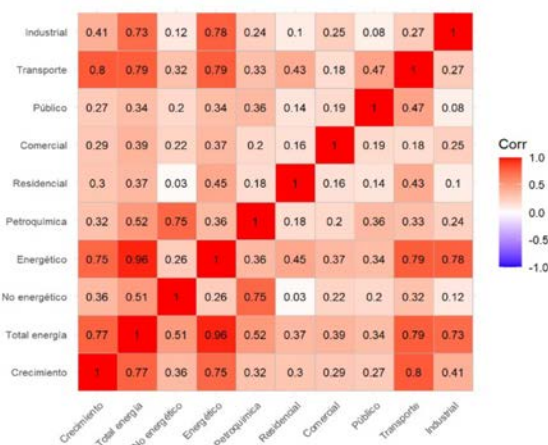
Una vez descompuestas las series de tiempo en diferentes niveles de resolución, se aplica una red neuronal de propagación hacia atrás con dos niveles intermedios, para conocer el grado de certeza de predicción que los tipos de consumo de energía tendrían sobre el crecimiento económico. Finalmente, se aplica un modelo ARIMA sobre el componente de suavización (SJ), mismo que corresponde al ciclo de la serie de tiempo, para realizar pronóstico del 2019 al 2036 del ciclo de las series de crecimiento económico y los componentes del consumo de energía.

Las estimaciones fueron realizadas en la paquetería estadística R versión 4.0.2 para Windows.

Análisis de resultados

La primera parte del análisis muestra las correlaciones del crecimiento económico con los diferentes tipos de consumo de energía. La figura 2 muestra el mapa de calor de correlaciones en su forma global en donde se observa que el crecimiento económico de México ha tenido un grado de asociación relativamente alto (0.76) con el consumo total de energía el cual, al desagregarse en un primer nivel, se detecta que el consumo de tipo energético es sobre el cual recae mayormente dicha asociación (0.74).

Figura 2
Correlación global entre crecimiento económico
y tipos de consumo de energía



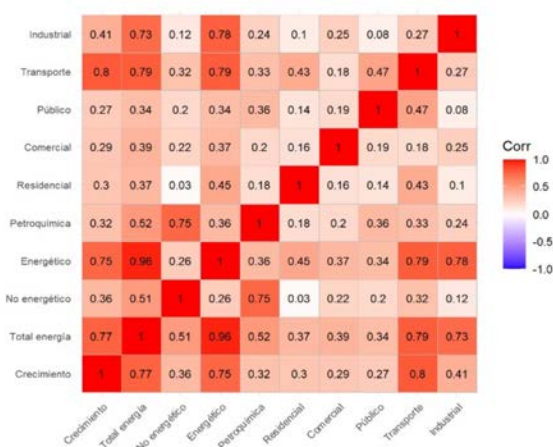
Fuente: elaboración propia.

El grado de asociación del crecimiento económico con los componentes del consumo total de energía en un segundo nivel desagregado, muestra que el consumo por el sector público ha sido el más bajo (0.25); seguidamente los consumos comercial y residencial (0.30). El sector transporte es aquel que muestra mayor grado de asociación con el crecimiento económico (0.77) en el periodo de estudio.

La descomposición por multiresolución a través de la Transformada *Wavelet* Discreta de Máximo Traslapo (TWDMT), muestra niveles de correlación menores a la serie original. Por ejemplo, sea el caso del consumo público, mostró una relación negativa en tanto que el consumo del transporte disminuye a 0.66 (véase el anexo 2). Sin embargo, en el nivel de resolución D7, las correlaciones se fortalecen de forma amplia quedando el grado de asociación del consumo en petroquímica en el nivel más bajo de 0.13. Aunque, al obtener los grados de aso-

ciación en el nivel de resolución que ha permitido quitar el ruido a las series de tiempo (S7), se detecta que las asociaciones se han fortalecido quedando rezagado el sector residencial (véase la figura 3). Lo anterior indicaría que, no es sino en el largo plazo, cuando los diferentes desagregados de consumo de energía muestran relevancia con el crecimiento económico de México.

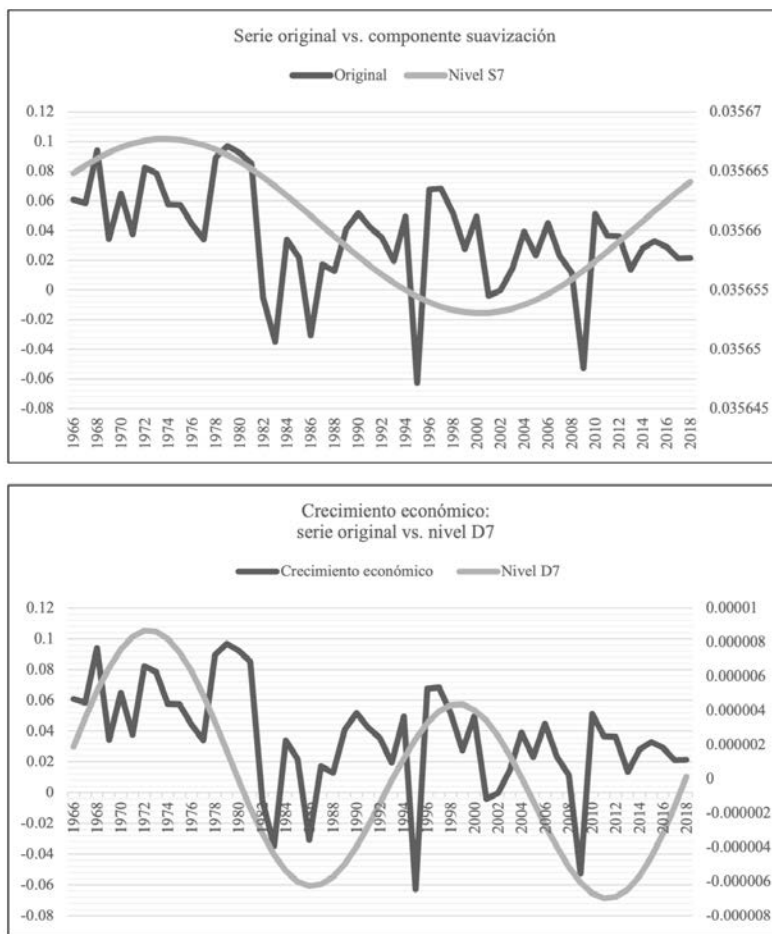
Figura 3
Correlación en nivel S7 entre crecimiento económico y
y tipos de consumo de energía



Fuente: elaboración propia.

De forma adicional, la figura 4 muestra el crecimiento económico en su forma original (no descompuesta) con su nivel D7, el cual corresponde a un horizonte de 12 a 16 años. Se detecta que, en anticipación a las dos principales crisis de los 80, el ciclo económico ya mostraba su fase a la baja. Sin embargo, a pesar de que México sufrió una caída de poco más del 6% en 1995, no es sino hasta 1999 cuando el ciclo de la economía mexicana entra a su fase a la baja.

Figura 4
Crecimiento económico en su nivel original y
descompuesto en el nivel D7 y S7



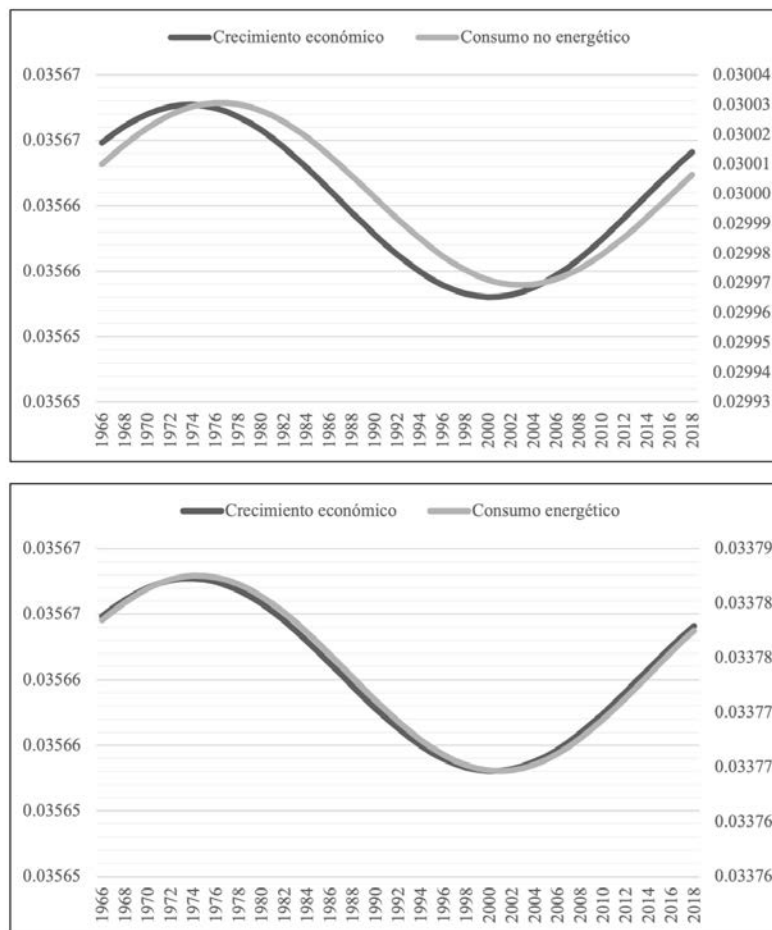
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, el último tramo del periodo de estudio muestra que todavía hasta 2018 el ciclo económico de México se encuentra en su fase alcista. Al comparar la serie original con el nivel S7 (horizonte mayor a 16 años), se detecta que el ciclo entre 1990 y 2008 del nivel D7 estaba envuelto en un cambio de fase de decrecimiento a crecimiento. Por lo que aún y que entre 1996 y 1999 se registraron en México crecimientos económicos positivos, México realmente se encontraba en una fase de estancamiento.

Una vez reconocidos los tipos de ciclos que el crecimiento económico pueda manifestar en función de la descomposición por multiresolución que permite el análisis con funciones *wavelets*, la figura 5 compara el ciclo del crecimiento económico con el consumo no energético y energético. Se aprecia en la figura 5a, que entre los ciclos del crecimiento económico y el consumo no energético (explicado mayormente por el sector de petroquímica), existe un desfase, lo cual supondría un efecto retardado del crecimiento económico sobre el consumo no energético. En su caso, la falta de sincronización evidenciaría la baja o nula interacción entre ambas series. Por otro lado, la relación de largo plazo entre crecimiento económico y consumo energético (5b), muestra sincronización en las fases, a lo cual se argumentaría un vínculo más fuerte con este tipo de consumo respecto al no energético (véase el anexo 3).

Tanto las matrices de correlación por nivel de resolución como los gráficos de sincronización tienen el sustento al aplicar la Coherencia *Wavelet* a las respectivas series de tiempo. La figura 6a muestra el grado de interacción del crecimiento económico con el consumo total de energía, en donde la misma ha reflejado una fuerte asociación en escalas de largo plazo, la cual se mantuvo hasta el 2000.

Figura 5
Relación del crecimiento económico con el
consumo no energético (a) y energético (b)



Fuente: elaboración propia.

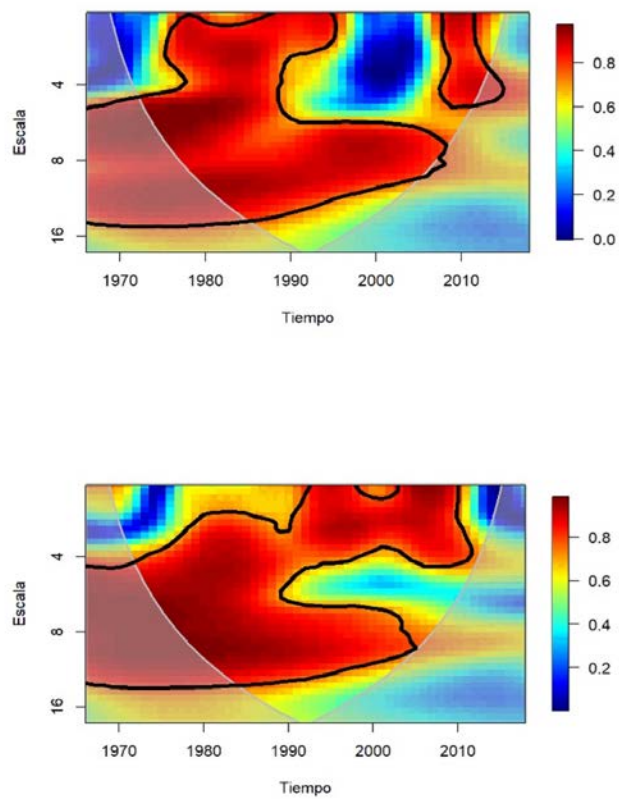
Cabe mencionar que entre 1980 a 1990 también se presentó un grado de interrelación alto en escalas de corto y mediano tiempo. Sin embargo, el grado de interacción ha perdido fuerza en horizontes de largo plazo a partir del 2000 y únicamente se mantuvo para ventanas de corto plazo.

De forma particular, la misma figura 6b muestra la coherencia *wavelet* del consumo en el sector transporte, la cual refleja que hasta el 2000 el grado de asociación con el crecimiento económico se explicaba más por relaciones de largo plazo. A pesar del debilitamiento en la interacción de largo plazo, a partir del 2000 y hasta 2010 se mantuvo relación fuerte en horizontes o escalas de tiempo de menor plazo. Se detecta que a partir del 2010 la interrelación se ha mantenido relativamente baja en niveles de 0.50. Al comparar las coherencias, el consumo total de energía está reflejando el patrón del consumo en el sector del transporte.

Cabe mencionar que las interacciones más débiles con el crecimiento económico fueron el consumo de petroquímica; seguidamente por los sectores comercial e industrial. El sector residencial mostró relación fuerte en horizontes de largo plazo hasta el 2000, que después migró a una relación más fuerte en periodos de corto plazo del 2010 a la fecha. En tanto que el consumo del sector público mostró relación fuerte de 1980 a 2000 en horizontes de mediano plazo (anexo 4).

Por lo anterior, la contribución del consumo de energía total sobre el crecimiento económico se explica ampliamente por el consumo del tipo energético. Siendo que el sector de transporte justifica la alta relación con el crecimiento económico.

Figura 6
Coherencia *wavelet* del crecimiento económico con consumo total
de energía (arriba) y sector del transporte (abajo)



Fuente: elaboración propia.

La capacidad predictiva de los tipos de consumo de energía sobre el crecimiento económico se aprecia a través de la red neuronal, donde los nodos iniciales corresponden a tipos consumo y, dadas las combinaciones lineales bajo la metodología de propagación hacia atrás (*back propagation*), se consideran dos niveles intermedios de 3 y 2 nodos, respectivamente. De esa forma el resultado (*output*) corresponde a la predicción del crecimiento económico. El resultado a evaluar es el nivel de certeza que tendrían los tipos de consumo en predecir el crecimiento económico en diferentes niveles de resolución.

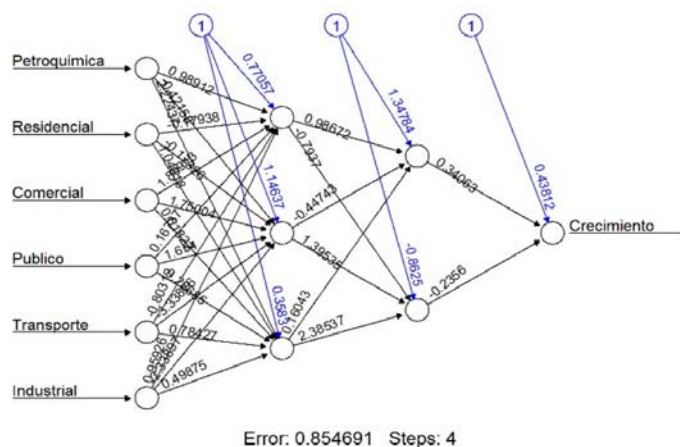
La figura 7 muestra la red neuronal de las series originales (sin descomposición por niveles de resolución), cuyo nivel de certeza fue 18% (véase el anexo 5). El cuadro 1 muestra los porcentajes de capacidad de predicción sobre el crecimiento económico en cada nivel de resolución. Se observa que el nivel de certeza aumenta si los intervalos de tiempo son mayores, esto es, ante las frecuencias altas que son capturadas en escala o ventanas de corto tiempo, la capacidad de predicción de los componentes del consumo de energía es bajo, comparado con ventanas de tiempo de largo plazo. De otra manera, la capacidad de predicción del consumo de energía sobre el crecimiento económico es endeble debido a la alta presencia de ruido en la información.

Contrario a lo anterior, en escalas mayores de tiempo, toda vez que la serie de tiempo va filtrando el ruido en el proceso de descomposición por multiresolución, hasta obtener el componente cíclico, la capacidad de predicción aumenta de forma considerable hasta un 100%. Por lo tanto, el consumo de energía correspondería a un factor determinante en el largo plazo sobre el crecimiento económico de México.

Dados los resultados, se reconocería que la mejor interacción entre crecimiento económico y consumo de energía se guarda en hori-

zontes de largo plazo, donde a través de la red neuronal se validaría la capacidad de predicción. Por eso, se justificaría la predicción de las series económicas hasta 2036, mediante el modelo SARIMA, y con ello estimar la Coherencia *Wavelet* para identificar posibles cambios en la estructura de comportamiento, así como reconocer el tipo de interacción que mantendría a futuro el crecimiento con el consumo de energía.

Figura 7
Red neuronal de las series originales



Fuente: elaboración propia.

La figura 8 muestra el pronóstico del crecimiento económico y el consumo de energía por petroquímica para 2019-2036, donde el segmento de color rojo representa el respectivo pronóstico. El gráfico 8a muestra un periodo prolongado para llegar al nivel máximo para después entrar en una fase de desaceleración. Sin embargo, el gráfico 8b, que representa al consumo de energía por petroquímica, indica que dicho consumo estará llegando a su nivel máximo en 2029, a partir del cual comenzará una desaceleración en el sector (anexo 6).

Cuadro 1
Nivel de certeza de predicción del consumo de
energía sobre el crecimiento económico

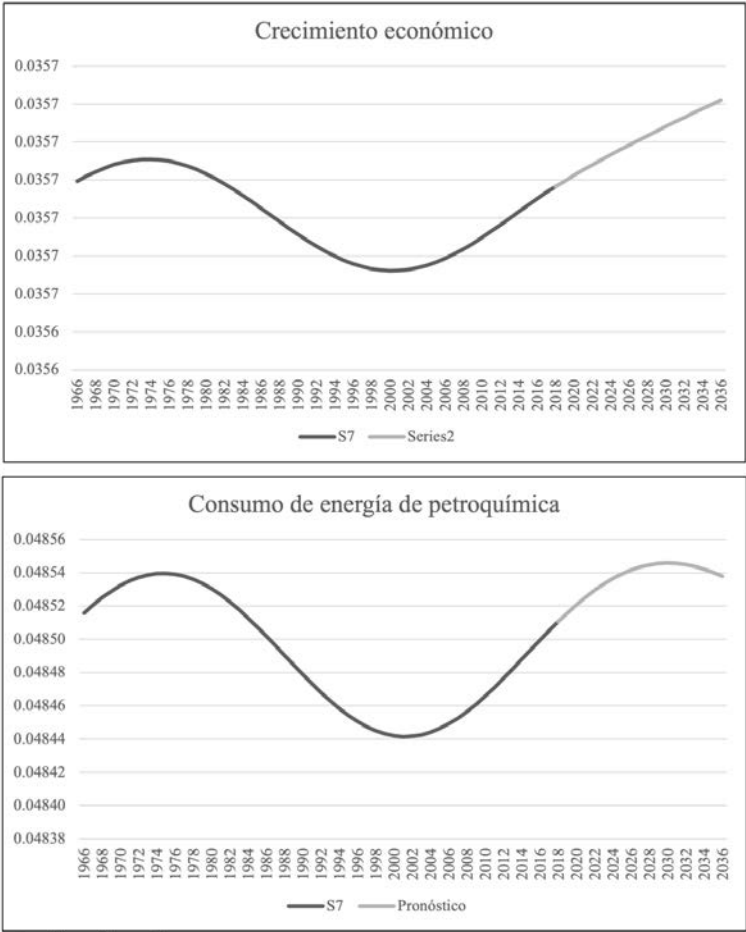
Nivel	Nivel de certeza
original	18%
D1	27%
D2	82%
D3	73%
D4	100%
D5	100%
D6	100%
D7	100%

Fuente: elaboración propia.

Discusión y resultados

Los *wavelets* son funciones especiales que permiten capturar la propiedad oscilatoria (*wave*) y de suavización (*let*) de una serie de tiempo que funge como filtro de pase para descomponer la respectiva señal en el dominio de tiempo y frecuencia, proceso conocido como análisis por multiresolución. Desde su aplicación en el análisis de las relaciones entre series de tiempo macroeconómicas ([Ramsey y Lampart, 1998](#)), se ha producido un incremento sustancial en la revisión de patrones de comportamiento que caracterizaron la construcción de postulados económicos y financieros; como ejemplo del análisis por *wavelets* destaca la curva de Phillips ([Gallegati et al., 2006](#)), política monetaria ([Aguilar-Conraria et al., 2008](#)), y la diversificación internacional en portafolios de inversión ([Rua y Nunes, 2009](#)).

Figura 8
Pronóstico del componente cíclico del
crecimiento económico de México



Fuente: elaboración propia.

Por lo que, entre los diferentes atributos del análisis por *wavelets* como la filtración del ruido, cuyo resultado es observado en una señal limpia pero que aún muestra detalles importantes (Graps, 1995), ha permitido desenmascarar relaciones ocultas entre las variables económicas, y con ello replantear los postulados en economía y finanzas. Su importancia radica en considerar la distinción de los horizontes de inversión que tienen los participantes del mercado (Rua y Nunes, 2009), cuyas implicaciones radican en explotar las oportunidades de diversificación en el contexto de la temporalidad en que ocurren los niveles de asociación que marcan el co-movimiento entre los mercados. A lo cual ha sido posible distinguir dos tipos de interacciones: una que ocurre de forma rápida y agresiva que es nombrada por contagio puro, y otra que permanece en el tiempo denominada derrames (*spillovers*) (Gallegati, 2012).

Dada la importancia de distinguir tipos de co-movimiento entre las series de tiempo, situación que el análisis clásico de series de tiempo no permite, pues únicamente opera sobre el dominio de las frecuencias, el presente capítulo desarrolló un análisis por multiresolución fundamentado en las propiedades de las funciones *wavelets*, así como la descripción de la implementación de esta técnica (MRD), haciendo mención a la forma de obtener los coeficientes de las series de tiempo descompuestas en diferentes escalas de tiempo mediante la transformada *wavelet*. Lo anterior para conocer las relaciones y su coherencia en diferentes ventanas de tiempo entre el consumo de energía y el crecimiento económico de México

Descomponer una serie de tiempo en sus frecuencias altas que ocurren en ventanas de tiempo de corto plazo, así como frecuencias bajas que ocurren en ventanas de largo plazo, permitió aplicar una

red neuronal cuyos insumos correspondieron a los coeficientes de las series de tiempo descompuestas en las diferentes ventanas de tiempo, con el propósito de identificar el poder predictivo y contributivo que el consumo de energía (por escala de tiempo) tiene sobre el crecimiento económico. La robustez del modelo neuronal se pudo verificar a través de la coherencia *wavelet*, que mapea las interacciones de cada tipo de consumo energético con el crecimiento económico en las diferentes ventanas de tiempo y a través de éste.

Finalmente, se construyó un modelo predictivo SARIMA para proyectar las series originales y su componente de suavización de los tipos de consumo energético (energético, no energético, petroquímica, residencial, comercial, público, transporte e industrial). Esta etapa final de la metodología toma relevancia para conocer la formación y sincronización de ciclos, y detectar posibles desfases en la interacción del consumo de energía y crecimiento económico. Al respecto, en estudios sobre ciclos económicos (Mejía *et al.*, 2006) se detectó que la sincronización no es un fenómeno general por lo que, de forma particular en su estudio, no todas las actividades productivas estarían vinculadas con el exterior; proponen el uso de técnicas sofisticadas en el análisis de la sincronización. Por consiguiente, el presente estudio consideró los resultados de Mejía *et al.* (2006) para analizar la interacción y sincronización en el largo plazo, e identificar si todos los tipos de consumo de energía están vinculados con el crecimiento económico.

Así como el análisis por *wavelets* ha mostrado tener ventaja sobre el análisis clásico de series de tiempo, aunque éste solo considera el dominio de las frecuencias sin poder identificar en paralelo su ocurrencia en escalas de tiempo; es importante mencionar que la aplicación de *wavelets* considera un costo computacional relativamente alto, tan-

to para detectar el nivel de resolución óptimo en donde la serie de tiempo ya concentró la mayor parte de su energía, como identificar la función *wavelet* (continua o discreta) que mejor capture el patrón de comportamiento de la serie de tiempo original. Por tanto, una debilidad identificada es que en el proceso de descomposición para el análisis del co-movimiento entre series de tiempo, se recurra a una sola función *wavelet* que caracterice a todas las variables que entran en el estudio. Lo anterior no desacredita la capacidad de la metodología, una vez que sus aplicaciones han transitado por la medicina, geología, y economía, en general en el estudio de señales. Sumado a ello, la combinación con redes neuronales con el propósito de resolver un problema de predicción aumenta el costo computacional, pues la complejidad de la estructura de la red dependerá del número de entradas y de las capas intermedias. Dado lo anterior, en su aplicación se han considerado como una caja negra; si bien desempeñan predicciones con mayor certeza y son capaces de aproximar funciones no conocidas, no permiten tener una visión clara de la estructura interna en el proceso de aprendizaje.

Como conclusiones y principales aportaciones del capítulo se pueden mencionar las siguientes:

- Se ha desarrollado un esquema en multiresolución en el dominio a través del tiempo del crecimiento económico de México y del consumo de energía en sus diferentes componentes. Esto permite tener un algoritmo abierto (en el software R) para emplear las *wavelets* que más se ajusten al problema particular. Además, se ha logrado una multiresolución efectiva sin modificar los algoritmos cada vez que se requiera aumentar la resolución de resultados.
- Se realizaron diversas pruebas de validación de las demás técnicas utilizadas como correlaciones, redes neuronales y modelos

SARIMA, las cuales soportaron y complementaron los análisis de multiresolución.

- El crecimiento económico de México ha tenido un grado de asociación relativamente alto (0.76) con el consumo total de energía el cual, al desagregarse en un primer nivel, se detecta que el consumo de tipo energético recae mayormente sobre dicha asociación, es decir, el consumo energético explica de manera relevante el crecimiento económico de México.
- El análisis MRD también sugirió que parecen ocurrir recesiones debido a una caída coincidente en los ciclos de crecimiento en todas las frecuencias; en el caso de las crisis cíclicas para el caso de México, por ejemplo: 1994-1995, 2008-2009, la economía mexicana y el consumo de energía entran en su fase a la baja, lo que deja evidencia que esto pasará con el año 2020 ante la pandemia de Covid-19.
- La mayoría de las variables (componentes) contienen mayor energía en la escala suavizada, también el análisis y corrida de los modelos SARIMA proyectan del año 2019 al 2036 los componentes del consumo de energía, en los componentes donde se observa un crecimiento continuo en estos rubros son el energético, no energético, residencial, comercial, transporte e industrial; en contra parte, los componentes que proyectan un decremento al final del ciclo son de petroquímica y el componente público, por otro lado las proyecciones arrojan un crecimiento futuro.

El análisis por multiresolución confirmó los hallazgos de que la mayor cantidad de energía en series económicas se puede encontrar a largo plazo, fluctuaciones basadas en la forma del espectro generalizado para el crecimiento económico. En consecuencia, el grado de

interacción alto entre el consumo de energía y el crecimiento económico respaldaría la hipótesis de retroalimentación (*feedback*), la cual establece una causalidad bidireccional y refleja interdependencia y complementariedad entre crecimiento y energía. Los resultados del estudio concuerdan con Deniz (2015), quien detecta interacción positiva entre consumo de electricidad y crecimiento, pero en diferentes periodos de tiempo; con excepción de China y Filipinas que no mostraron comovimiento. Asimismo, Ha *et al.* (2018), encuentran que en el corto plazo existe una causalidad negativa del consumo de energía al crecimiento; argumentan que esto implicaría un cambio en la producción a sectores menos intensivos en energía. Sin embargo, encuentran que en el largo plazo existe relación bidireccional y sugieren que una política de conservación de energía debiera ser moldeada para evitar impactos no deseados en el desarrollo económico. Por tanto, ante dicha sensibilidad del crecimiento al consumo de energía, se recomiendan políticas que favorezcan energías alternativas renovables, contrario a reducir directamente el consumo de energía. Finalmente, Ozun y Cifter (2007) quienes también aplicaron el análisis por *wavelets*, encuentran que en el corto plazo se presenta una relación bidireccional entre consumo de energía y crecimiento, pero en el largo plazo el crecimiento afecta al consumo de energía, cuyo impacto se observa de 5 a 8 años después.

Por lo anterior, una política gubernamental en México de conservación de energía podría alterar la trayectoria del crecimiento; ya que, considerando los resultados de las investigaciones arriba citadas, el consumo y por ende la producción de energía han sido mayormente con fuentes tradicionales. Así, más allá de disminuir el consumo de energía se tendría que fortalecer la diversificación de fuentes alternas (limpias), respaldadas con infraestructura que soporte la eficiencia energética. A

la vez, evaluar el cambio de un consumo enfocado en la industria hacia aquel enfocado en servicios.

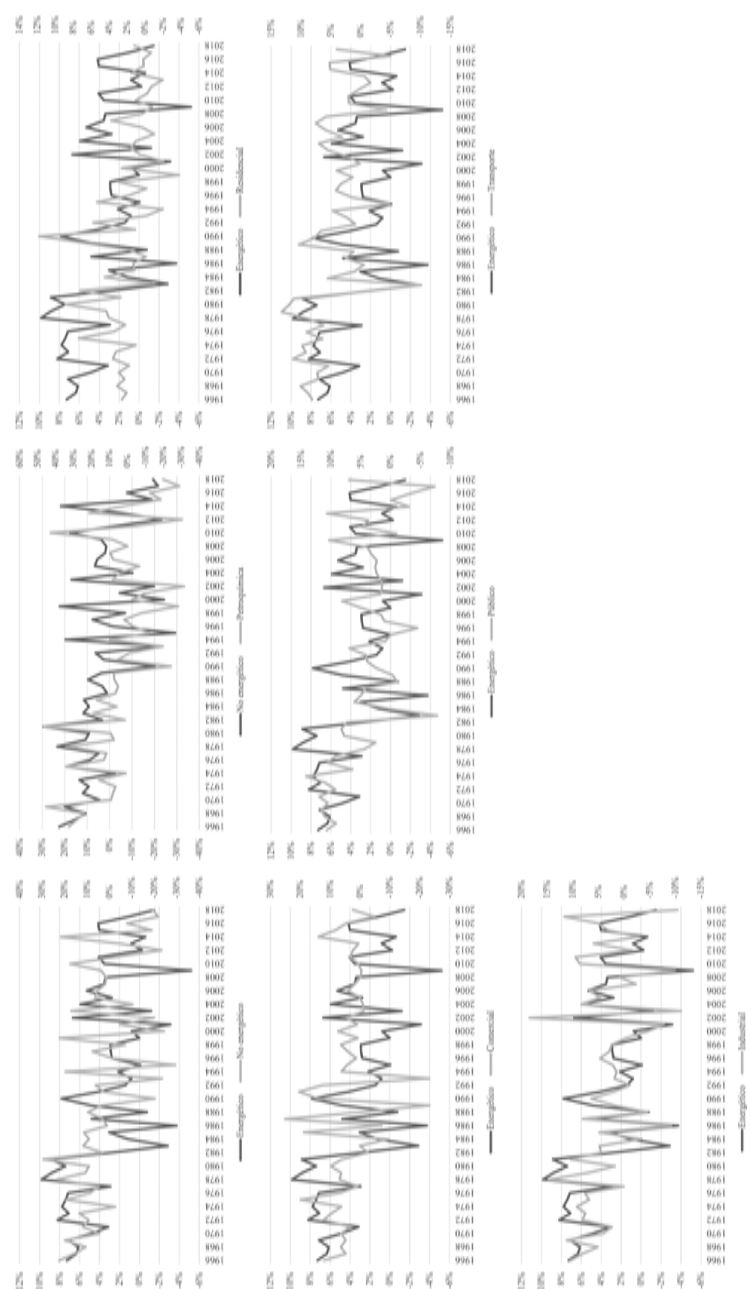
Como futuras líneas de investigación se plantea la posibilidad de incluir nuevas condiciones de contorno que permitan modelar estructuras más complejas tales como discontinuidades, también la presencia de más componentes en el consumo de la energía, como por ejemplo energías limpias.

Referencias

- Adhikari, D. y Chen, Y. (2012), Energy consumption and economic growth: A panel cointegration analysis for developing countries, *Review of Economics & Finance* 3(2): 68-80.
- Aguayo, F. y Gallagher, K. P. (2005), Economic reform, energy, and development: the case of Mexican manufacturing, *Energy Policy* 33(7): 829-837.
- Aguiar-Conraria, L.; Azevedo, N. y Soares, M. J. (2008), Using wavelets to decompose the time-frequency effects of monetary policy, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(12): 2863-2878.
- Asia Pacific Economic Cooperation Secretariat (2019), *APEC energy demand and supply outlook*, 7th edition, Singapur.
- Campo, J. y Sarmiento, V. (2013), The relationship between energy consumption and GDP: Evidence from a panel of 10 Latin American countries, *Latin American Journal of Economics* 50(2), 233-255.
- Dartmann, G.; Song, H. y Schmeink, A. (ed.). (2019), Big data analytics for cyber-physical systems: machine learning for the internet of things, *Elsevier*, pp. 167-186.
- Daubechies, I. (1988), Orthonormal bases of compactly supported wavelets, *Communications on pure and applied mathematics* 41(7): 909-996.
- Deniz, P. (2015), Electricity consumption and growth: Wavelet analysis for emerging markets, *Journal of Economics, Business, Politics and International Relations* 1(1): 1-15.

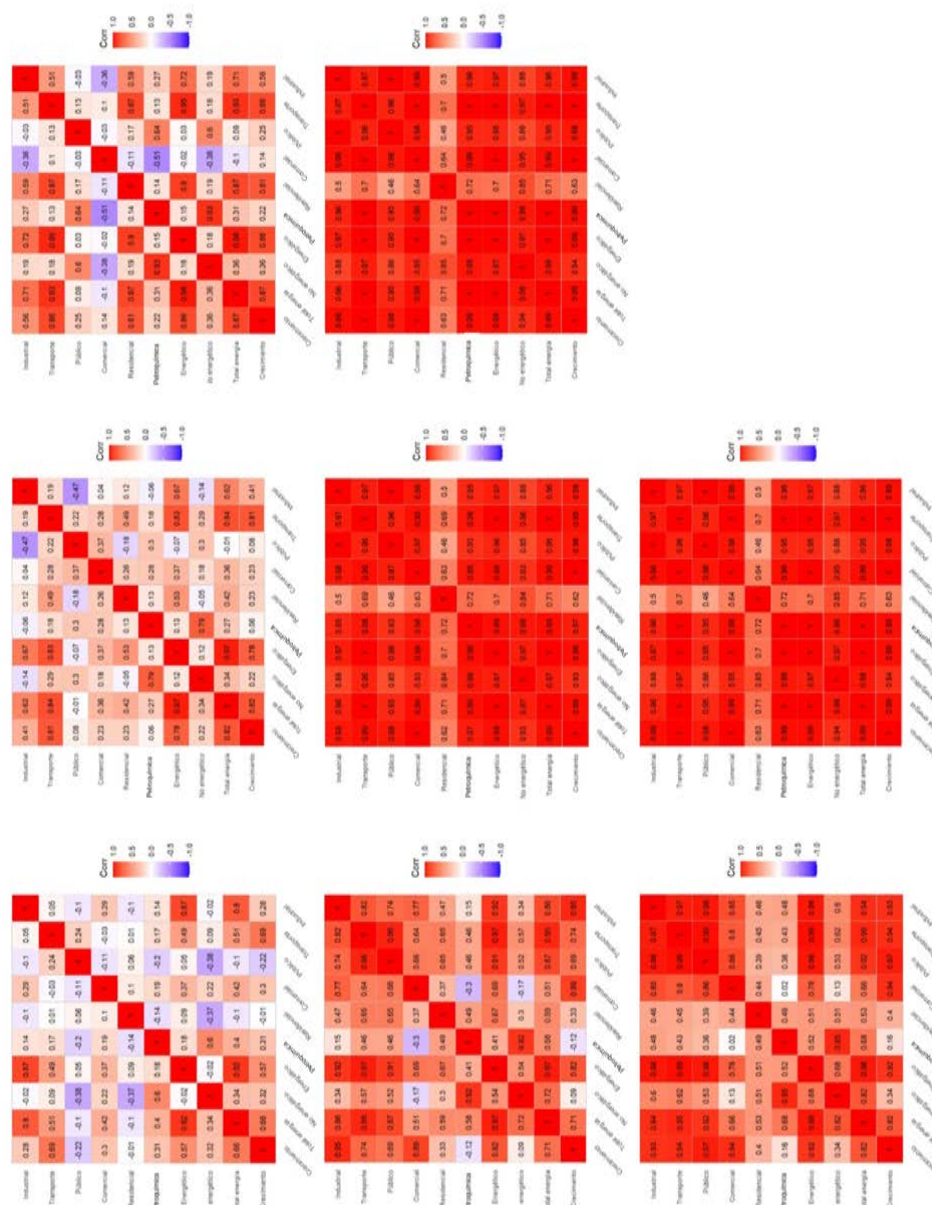
- Gallegati, M. (2012), A wavelet-based approach to test for financial market contagion, *Computational Data & Statistics Data Analysis* 56(11): 3491-3497.
- Gallegati, M.; Keen, S.; Lux, T. y Ormerod, P. (2006), Worrying trends in econophysics, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 370(1) 1-6.
- Graps, A. (1995), An introduction to wavelets, *IEEE computational science and engineering* 2(2): 50-61.
- Gómez, M. y Rodríguez J. C. (2015), Electricity consumption and economic growth: The case of México, *International Journal of Economics and Management Engineering* 9(8): 2803-2808.
- Ha, J.; Tan, P. P. y Goh, K. L. (2018), Linear and nonlinear causal relationship between energy consumption and economic growth in China: New evidence based on wavelet analysis, *PLoS ONE* 13(5).
- Hartwick, J. M. (1977), Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources, *The American Economic Review* 66: 972-974.
- Lee, C. (2005), Energy Consumption and GDP in Developing Countries: A Cointegrated Panel Analysis, *Energy Economics* 27(3): 415-427.
- Lee, C. y Chang, C. (2007), Energy consumption and GDP revisited: A panel analysis of developed and developing countries, *Energy Economics* 29(6): 1206-1223.
- Mejía, P.; Gutiérrez, E. E. y Farías, C. A. (2006), La sincronización de los ciclos económicos de México y Estados Unidos, *Investigación Económica* 65(258): 15-45.
- Omay, T.; Hasanov, M. y Ucar, N. (2014), Energy consumption and economic growth: Evidence from nonlinear panel cointegration and causality tests, *Applied Econometrics* 34(2).
- Ozun, A. y Cifter, A. (2007), Multi-scale causality between energy consumption and GNP in emerging markets: Evidence from Turkey, *Investment Management and Financial Innovations* 4(2): 60-70.
- Ramsey, J. B. y Lampart, C. (1998), Decomposition of economic relationships by timescale using wavelets, *Macroeconomic Dynamics* 2(1): 49-71.
- Rua, A. y Nunes, L. C. (2009), International comovement of stock market returns: A wavelet analysis, *Journal of Empirical Finance* 16(4): 632-639.
- Shengfeng, X. (2012), The relationship between electricity consumption and economic growth in China, *Physics Procedia* 24: 56-62.

Anexo 1. Crecimiento económico y tipos de consumo de energía en sus valores originales



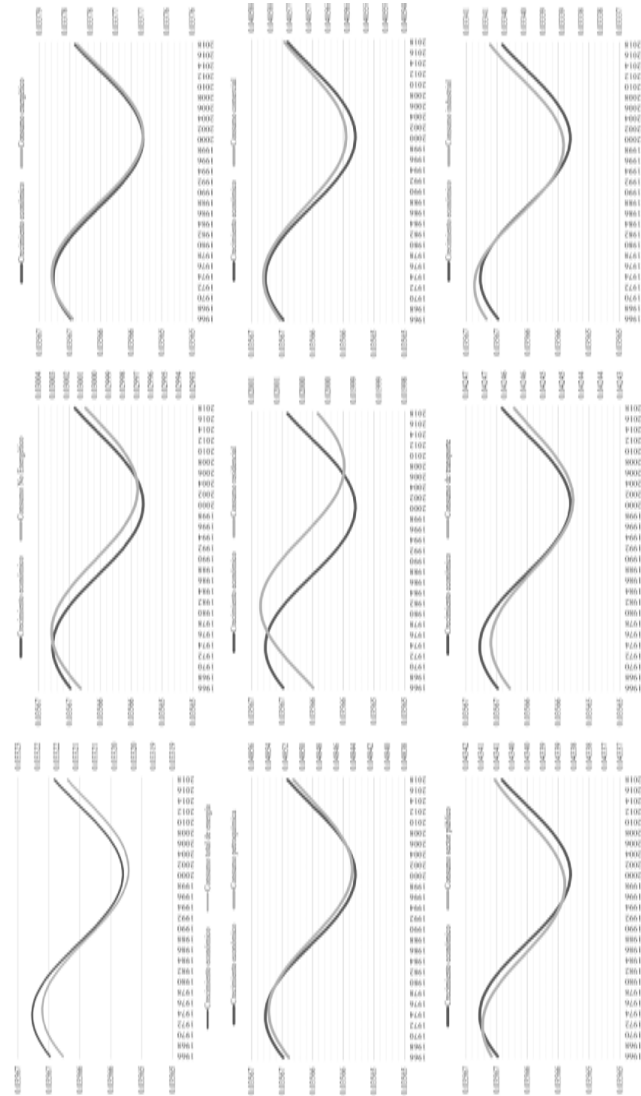
Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Correlaciones en niveles de resolución



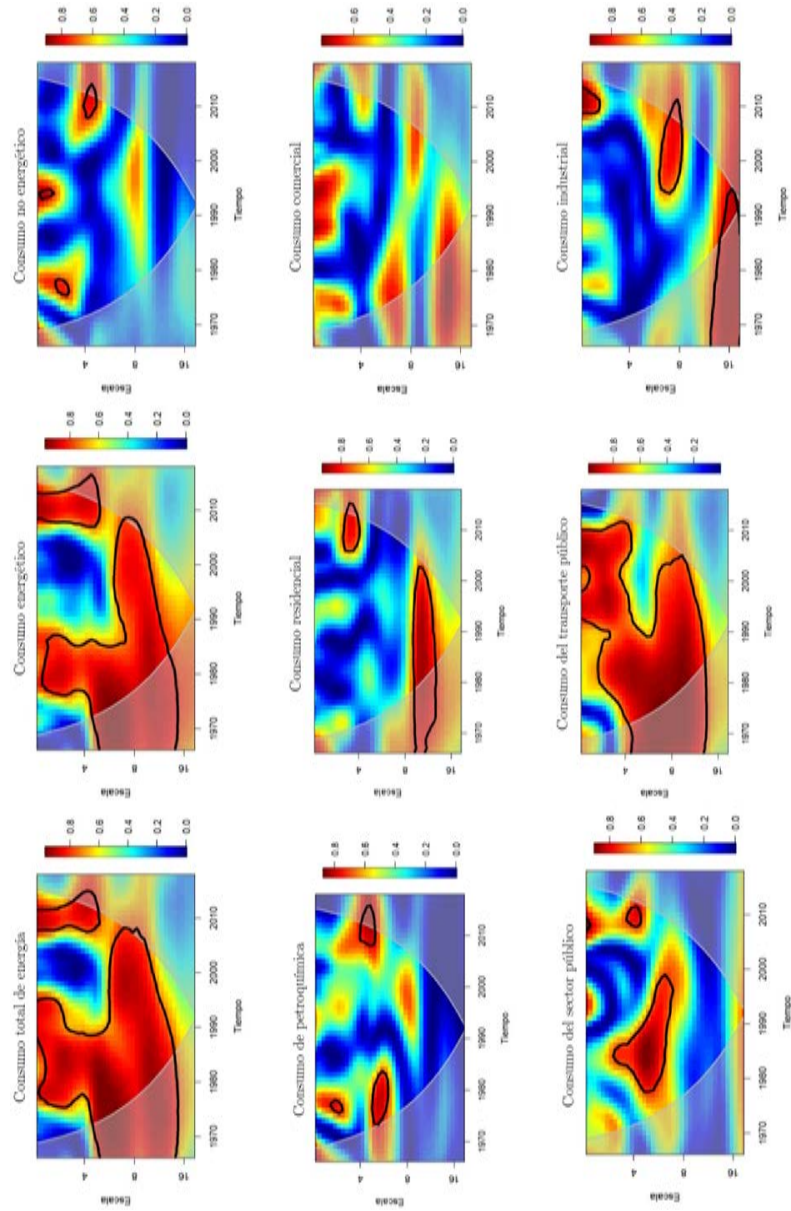
Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Ciclos del crecimiento económico y tipos de consumo de energía, de 1966 a 2018



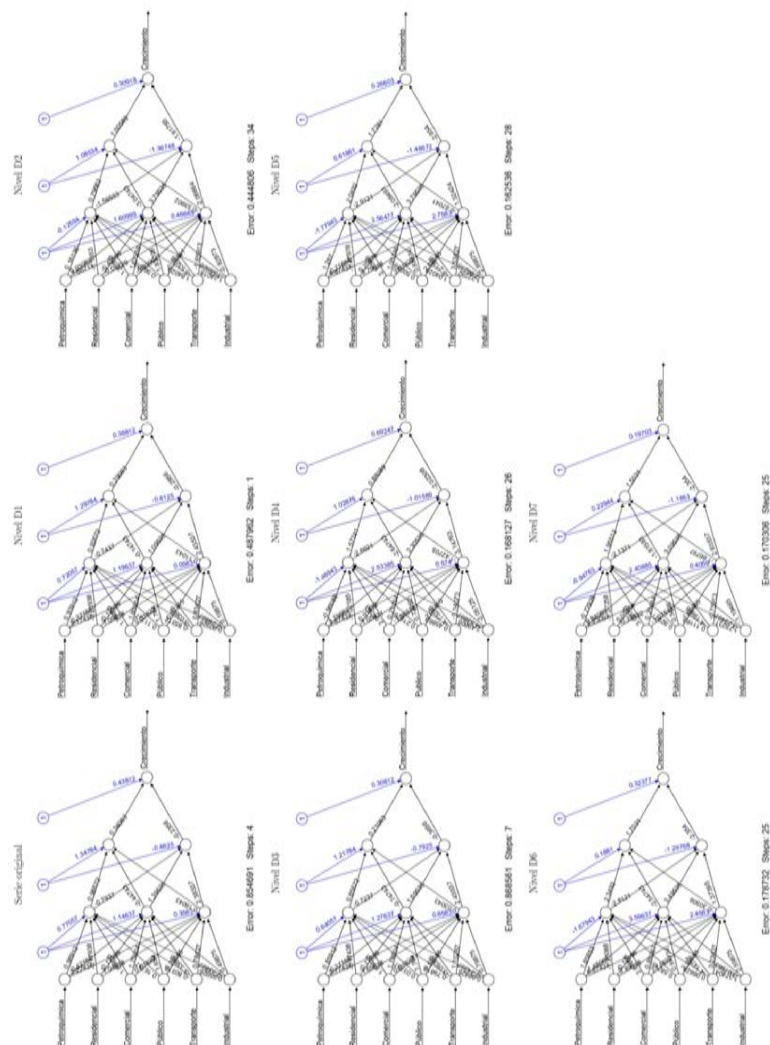
Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. Coherencia *wavelet* entre crecimiento económico y tipos de consumo de energía



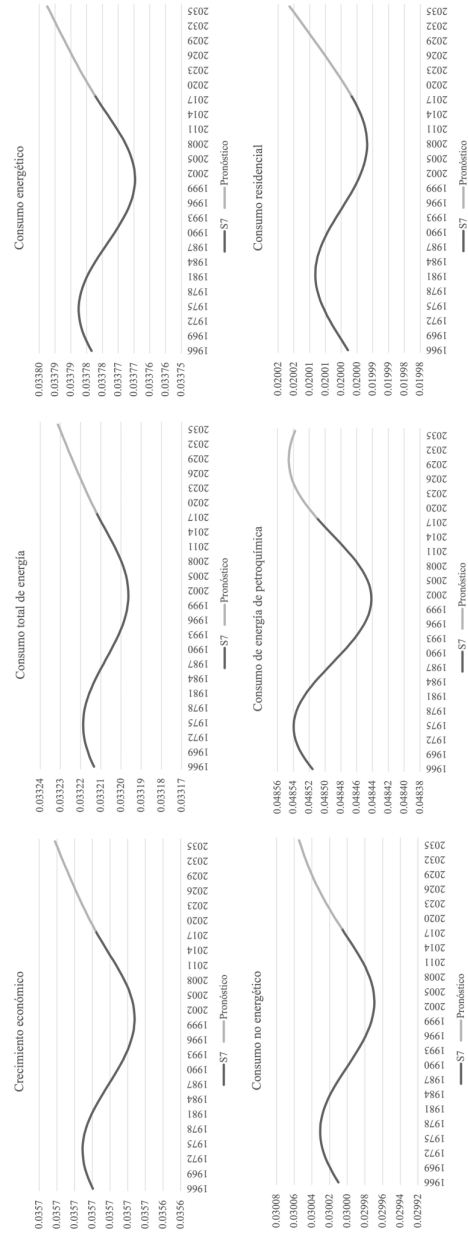
Fuente: elaboración propia.

Anexo 5. Red neuronal en los diferentes niveles de resolución



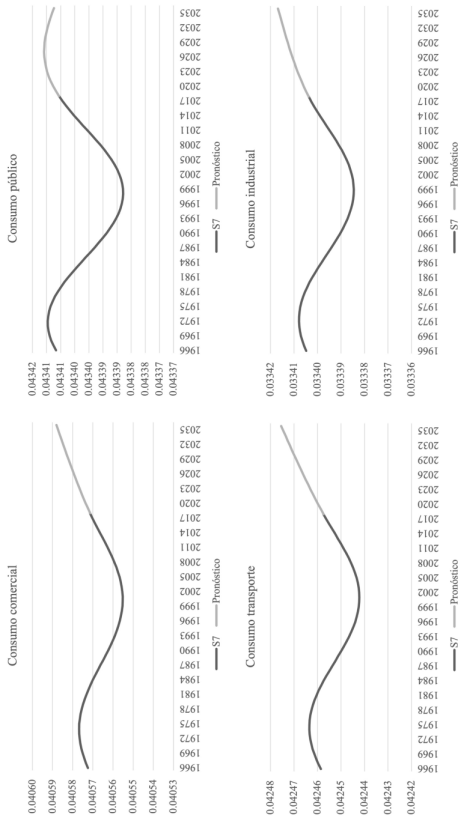
Fuente: elaboración propia.

Anexo 6. Pronósticos en el nivel S7 del crecimiento económico y tipos de energía



Fuente: elaboración propia.

Anexo 6. Continuación...



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 2

Dinámicas, volatilidades e interrelaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica en México

Antonio Ruiz Porras
Javier Emmanuel Anguiano Pita

Tradicionalmente, los hacedores de políticas, los académicos y el público plantean que los precios del petróleo y el desempeño económico de los países están relacionados entre sí ([Hamilton, 1983 y 2011](#); [Barski y Kilian, 2004](#); [Mohaddes y Pesaran, 2017](#)). La importancia de esta relación ha promovido el desarrollo de una relativamente extensa literatura empírica. Pero, la mayoría de los estudios analizan la mencionada relación para los países desarrollados, es decir, los principales consumidores de petróleo. Por eso, los estudios suelen concluir que hay relaciones inversas entre los precios del petróleo y la actividad económica ([Brown y Yucel, 2002](#); [Mohaddes y Pesaran, 2017](#)).

Paradójicamente, no hay muchos estudios econométricos sobre la relación entre los precios del petróleo y la actividad económica para los países en desarrollo, como México. En estos países, la mencionada relación es importante para entender sus finanzas públicas, su balanza comercial, su nivel de inversiones y su crecimiento económico. Particularmente, en México, suele considerarse que hay una importante relación de largo plazo entre los precios del petróleo y el crecimiento económico (Puyana y Romero, 2008; Colmenares, 2008; Rubio-Varas, 2015). Sin embargo, los estudios econométricos alrededor de dicha relación son relativamente escasos.

En esta investigación se analizan econométricamente las dinámicas, volatilidades e interrelaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica en México. El estudio se sustenta en estadísticas descriptivas, correlaciones *pairwise*, pruebas de raíz unitaria y de efectos ARCH multivariados y estimaciones de un modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1). El modelo se utiliza para analizar las series de variaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica. La muestra analizada incluye series mensuales del indicador global de la actividad económica (IGAE) y de los precios del petróleo MAYA y la Mezcla Mexicana de Exportación (MME) para el periodo comprendido entre enero de 1993 y diciembre de 2019.

La investigación utiliza un modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1) con una distribución *t* de *Student* para describir y analizar las relaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica. La investigación complementa los estudios de Narayan *et. al.* (2014), Rodríguez-Benavides y López-Herrera (2019) y Alao y Payaslioglu (2021). Particularmente, el modelo usado permite estudiar las mencionadas relaciones considerando: 1) el uso de series representativas del petróleo

mexicano; 2) muestras de datos relativamente extensas debido a la periodicidad mensual de las series; y, 3) efectos asimétricos de la información sobre las volatilidades de las series.

Los principales hallazgos de esta investigación sugieren que: 1) las variaciones de la actividad económica están más correlacionadas a los precios del petróleo MAYA que a los precios de la (MME; 2) el modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1) con una distribución t de *Student* multivariada puede modelar adecuadamente las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y la actividad económica; 3) el modelo estimado para las series de variaciones del IGAE y del petróleo MAYA es el más adecuado para describir las mencionadas relaciones; 4) hay interrelaciones directas entre las volatilidades de las series; y, 5) hay efectos apalancamiento en las dinámicas de las volatilidades.

El estudio de las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica en México se organiza en cinco secciones, introducción y conclusiones. La sección 1 incluye la revisión de la literatura. La sección 2 describe la metodología de análisis enfatizando en la estructura del modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1) con una distribución t de *Student*. La sección 3 describe la base de datos y muestra la estadística descriptiva. La sección 4 muestra el análisis de raíces unitarias y de efectos ARCH. La sección 6 incluye el análisis econométrico. Finalmente se sintetizan los resultados y se discuten las implicaciones de los mismos.

Revisión de la literatura

Existe una literatura empírica relativamente amplia que ha estudiado las relaciones entre los precios del petróleo y las actividades económicas

para países desarrollados. Esta literatura suele centrarse en los países desarrollados que son consumidores de petróleo (Brown y Yucel, 2002; Barski y Kilian, 2004; Mohaddes y Pesaran, 2017). Por esta razón, los estudios suelen concluir que los *shocks* y los incrementos en los precios del petróleo están relacionados de manera inversa con las actividades y el crecimiento económico. Sin embargo, la generalidad de dicha conclusión resulta cuestionable si se considera que hay países productores de petróleo y otros consumidores.

La literatura sobre las mencionadas relaciones para los países en desarrollo muestra que estas son complejas debido a diversos factores. Hay quienes argumentan que las relaciones dependen de: 1) la geografía de los países (Cunado y Pérez de Gracia, 2005); 2) el grado de desarrollo de los países (Narayan, *et al.*, 2014); y, 3) la manera en que los países se insertan en los mercados de hidrocarburos, ya sea como productores o consumidores (Ftiti, *et al.*, 2016). En este contexto, hay quienes distinguen entre los efectos directos e indirectos asociados a dichas relaciones (Perilla-Jiménez, 2010; González y Hernández, 2016).

La relativa escasez de estudios econométricos para los países en desarrollo también puede explicarse por limitaciones metodológicas. Una primera limitación refiere a la relativa falta de series de datos lo suficientemente extensas para poder analizarlas. Una segunda limitación señala que muchos países en desarrollo no producen ni consumen un único tipo de petróleo y, por tanto, es posible que haya relaciones diferenciadas entre los precios de los tipos de petróleo y los indicadores de actividad económica. Una tercera limitación refiere a que las series de precios del petróleo suelen tener comportamientos que no son fáciles de modelar y analizar estadísticamente.

Esta investigación analiza las dinámicas, volatilidades e interrelaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica en México. Su metodología sigue los estudios de [Guo y Kliesen \(2005\)](#), [Rahman y Serletis \(2012\)](#), [Isah *et al.* \(2015\)](#) y [Alao y Payaslioglu \(2020\)](#). Particularmente, [Guo y Kliesen \(2005\)](#), [Rahman y Serletis \(2012\)](#) e [Isah *et al.* \(2015\)](#) analizan las volatilidades e interrelaciones entre los precios del petróleo y el crecimiento económico, respectivamente, en Estados Unidos, Canadá y Nigeria. [Alao y Payaslioglu \(2020\)](#), por su parte, muestran que hay interdependencias entre el precio del petróleo y el índice de producción industrial en Indonesia y Corea del Sur.

Metodológica y analíticamente, la investigación se sustenta en estimaciones de un modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1) con una distribución *t* de *Student* multivariada. El uso del modelo propuesto se justifica porque las series exhiben no linealidad, curtosis excesiva, *cluster* de volatilidad, volatilidades no constantes y distribución no normal. El modelo propuesto pertenece a la familia de los modelos GARCH multivariados.¹ Por lo tanto, la construcción de dicho modelo asume que las series siguen procesos generalizados autorregresivos con heteroscedasticidad condicionada (*Generalized AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity*, GARCH, por sus siglas en inglés).

En la literatura, son relativamente escasos los estudios econométricos que han analizado las relaciones entre los precios del petróleo con variables económicas y financieras para México. La mayoría de esos estudios se enfocan en los precios del petróleo con los índices

¹ Véanse los trabajos de [Bauwens *et al.* \(2006\)](#), [Minovic \(2009\)](#) y [Silvennoinen y Teräsvirta \(2009\)](#) para revisiones de los modelos GARCH multivariados.

bursátiles, los tipos de cambios, y los precios de referencia del petróleo.² Los que han analizado los precios del petróleo con el desempeño de la economía mexicana son mucho más escasos.³ Ejemplos representativos de estos estudios son los de [Alarco-Tosoni \(2006\)](#), [Blecker \(2009\)](#), [Narayan *et al.* \(2014\)](#), [Rodríguez-Benavides y López-Herrera \(2019\)](#) y [Alao y Payaslioglu \(2021\)](#).

Dichos estudios reportan hallazgos complementarios entre sí. Particularmente, [Alarco-Tosoni \(2006\)](#) señala que los precios del petróleo de los tipos WTI y MME y el precio promedio del petróleo importado de Estados Unidos, estuvieron directamente vinculados con el crecimiento económico mexicano entre 1975 y 2004. Sin embargo, el autor también reporta que la relación perdió vigor con el tiempo. [Blecker \(2009\)](#), por su parte, reporta que los precios del petróleo del tipo WTI estuvieron directamente vinculados con la inversión entre 1979 y 2007; pero dicha inversión tampoco indujo crecimiento económico.

[Narayan *et al.* \(2014\)](#), [Rodríguez-Benavides y López-Herrera \(2019\)](#) y [Alao y Payaslioglu \(2021\)](#) estudian la relación analizada con modelos de la familia GARCH. [Narayan *et al.* \(2014\)](#) encuentran que la volatilidad de los precios del petróleo estuvo vinculada negativamente

² Ejemplos representativos de esta literatura son los estudios de [Ruiz-Porras y Anguiano-Pita \(2016\)](#), [Lorenzo-Valdés *et al.* \(2016\)](#), y [Lorenzo-Valdés y Ruiz-Porras \(2019\)](#). Particularmente, el primer estudio analiza las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los rendimientos del petróleo mexicano, Brent y WTI. El segundo analiza la dependencia entre los precios del petróleo y el índice bursátil IPC. El tercer estudio analiza la dependencia entre los precios del petróleo y el tipo de cambio peso/dólar.

³ La mayoría de estudios que investigan dichas relaciones lo hacen desde una perspectiva histórica y argumentativa, por ejemplo los de [Puyana y Romero \(2008\)](#), [Colmenares \(2008\)](#) y [Rubio-Varas \(2015\)](#).

con el crecimiento del país entre 1983 y 2011. [Rodríguez-Benavides y López-Herrera \(2019\)](#) señalan que la incertidumbre en los precios del petróleo del tipo WTI tuvo una influencia negativa sobre la actividad económica entre 1983 y 2017. [Alao y Payaslioglu \(2021\)](#), por su parte, validan que hay interdependencias entre las dinámicas del precio del petróleo del tipo WTI y el índice de producción industrial mexicano.

Los estudios mencionados arriba tienen algunas limitaciones metodológicas. La primera es que no utilizan los precios del petróleo mexicano, sino del petróleo WTI, para analizar las relaciones entre el económica. La segunda es que la mayoría estudian muestras de datos relativamente cortas debido a que usan series del PIB como *proxy* de la actividad económica. La tercera es que la mayoría suponen que hay efectos informacionales simétricos sobre las volatilidades de las series. Estas limitaciones, en la práctica, restringen en buena medida la capacidad de analizar las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de las series.

Finalmente, la revisión de la literatura justifica la pertinencia de analizar las relaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica para México. También justifica la conveniencia de usar modelos GARCH multivariados para estudiar las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y la actividad económica. En este contexto, una razón adicional que justifica a la investigación planteada es que México es un exportador importante de petróleo y los ingresos petroleros financian en buena medida a la administración pública del país. Todas estas razones demuestran la pertinencia de esta investigación; más aún, la contextualizan en términos de la literatura econométrica existente.

Metodología de análisis

En esta sección se describe la metodología usada para analizar las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica en México. Particularmente, se usan como variables representativas a los precios del petróleo MAYA y MME y de la actividad económica al IGAE. Las series de variaciones de las variables se definen como las diferencias de las variables originales en logaritmos. Así, el valor en logaritmos de la variable i en el mes t , se define como $\ln V_{it}$. Asimismo, la variación mensual en términos porcentuales de la variable i en el mes t , y_{it} , se define como:

$$y_{it} = \ln V_{it} - \ln V_{it-1}. \quad (1)$$

El estudio se sustenta en estadísticas descriptivas, pruebas de normalidad Jarque-Bera, correlaciones *pairwise*, pruebas de raíz unitaria y de efectos ARCH multivariados y estimaciones de un modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1). Las estadísticas descriptivas y las pruebas de normalidad se usan para describir las series originales y de variaciones. Las correlaciones *pairwise* se utilizan para estimar las asociaciones lineales de las series de variaciones. El análisis de las series de variaciones se justifica mediante la estimación de pruebas de raíz unitaria y de efectos ARCH. El modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1) se usa para analizar las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica. Las series de variaciones se utilizan con base en los resultados de pruebas de raíz unitaria Aumentada de Dickey Fuller (ADF) y de efectos ARCH multivariados. Particularmente, las pruebas de efectos ARCH multivariados usadas aquí son aquellas basadas en los estadísticos $Q(m)$, Rho , $Q_k(m)$ y $Q_k(m)$ robusto. La

prueba $Q(m)$ se basa en la prueba de Ljung-Box. La prueba del rango, Rho , es la propuesta por [Dufour y Roy \(1985, 1986\)](#). La prueba $Q_k(m)$ es la propuesta por [Li \(2004\)](#). La prueba $Q_k(m)$ robusta es la propuesta por [Tsay \(2014\)](#).⁴ La hipótesis nula de todas las pruebas es que las series no manifiestan efectos ARCH multivariados.⁵

Los modelos ARCH multivariados se usan para describir y analizar conjuntamente las variaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica. Los modelos estimados son del tipo CCC (*Constant Conditional Correlation*).⁶ Estos modelos son variaciones del modelo propuesto por [Bollerslev \(1990\)](#). Particularmente, la estructura de los modelos aquí estimados se define de la siguiente manera:

⁴ El estimador $Q_k(m)$ robusto se estima suprimiendo (*trimming*) el 5% de los datos más altos. La supresión de dichos datos explica por qué se le denomina robusto ante colas anchas al mencionado estadístico.

⁵ Los estadísticos de las pruebas se estiman con las series de residuales estandarizados obtenidos de un modelo de vectores auto-regresivos, VAR(1). Los modelos VAR utilizados aquí estiman las relaciones de pares de series de variaciones mensuales. Véase [Tsay \(2014\)](#) para una descripción detallada de las mencionadas pruebas de efectos ARCH multivariados.

⁶ Los modelos del tipo CCC no fueron usados únicamente para analizar las series del petróleo y la actividad económica. En este estudio, también fueron estimados modelos del tipo DCC (*Dynamic Conditional Correlation*) siguiendo a [Engle \(2002\)](#). Sin embargo, los mismos fueron descartados con base en los resultados obtenidos de aplicar pruebas de correlaciones condicionales constantes siguiendo el enfoque propuesto por [Engle y Sheppard \(2001\)](#).

$$y_{IGAE,t} = \phi_1 + \phi_2 y_{IGAE,t-1} + \phi_3 y_{OIL,t-1} + \varepsilon_{IGAE,t} \quad (2)$$

$$y_{OIL,t} = \phi_4 + \phi_5 y_{IGAE,t-1} + \phi_6 y_{OIL,t-1} + \varepsilon_{OIL,t} \quad (3)$$

$$h_{IGAE,IGAE,t} = \omega_1 + \alpha_1 \varepsilon_{IGAE,t-1}^2 + \eta_1 \varepsilon_{IGAE,t-1}^2 I_{IGAE,t} + \beta_1 h_{IGAE,IGAE,t-1} \quad (4)$$

$$h_{OIL,OIL,t} = \omega_2 + \alpha_2 \varepsilon_{OIL,t-1}^2 + \eta_2 \varepsilon_{OIL,t-1}^2 I_{OIL,t} + \beta_2 h_{OIL,OIL,t-1} \quad (5)$$

$$h_{IGAE,OIL,t} = \rho \sqrt{(h_{IGAE,IGAE,t} h_{OIL,OIL,t})} \quad (6)$$

$$I_{IGAE,t} = \begin{cases} 1 & \varepsilon_{IGAE,t-1} < 0 \\ 0 & \varepsilon_{IGAE,t-1} > 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$I_{OIL,t} = \begin{cases} 1 & \varepsilon_{OIL,t-1} < 0 \\ 0 & \varepsilon_{OIL,t-1} > 0 \end{cases} \quad (8)$$

Las expresiones (2)-(8) definen la estructura de los modelos VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1) usados aquí. Particularmente, las ecuaciones (2) y (3) describen las medias condicionales de las series de variaciones con base en un proceso VAR(1). Las ecuaciones (4) y (5) describen las varianzas condicionales de las series, mientras que la ecuación (6) describe la covarianza condicional de las series de variaciones. Así mismo, las funciones (7) y (8) indican si hay malas noticias que pudieran tener impacto sobre las volatilidades de las series. Las especificaciones de impacto de los *shocks* informacionales TGARCH(1), se hacen explícitas introduciendo la ecuación (7) en la ecuación (4) e introduciendo (8) en (5).⁷

⁷ La especificación TGARCH fue originalmente propuesta por [Zakoian \(1994\)](#) para un

El análisis de las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica se realiza con dos estimaciones del modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1). La primera estimación incluye las series de variaciones del IGAE y del precio del petróleo MAYA. La segunda estimación incluye las series de variaciones del IGAE y del precio de la MME. Estas estimaciones se hacen con fines de modelación y análisis comparativo de las relaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica. Las estimaciones se hacen mediante la técnica de Máxima Verosimilitud asumiendo una distribución *t* de *Student* multivariada.⁸

El análisis econométrico se basa en evaluaciones de los parámetros estimados. Particularmente, el análisis se centra en los parámetros: 1) de las medias condicionales (ϕ_1, \dots, ϕ_6); 2) de la matriz de varianza-covarianza condicional ($\omega_1, \alpha_1, \beta_1, \omega_2, \alpha_2, \beta_2, \rho$); 3) de los efectos apalancamiento (η_1, η_2); y 4) de los grados de libertad de la distribución *t* de *Student* multivariada (ν). El número de coeficientes significativos, además, se utiliza para establecer la estimación que mejor describe las dinámicas, volatilidades, interrelaciones de las series.⁹ El análisis se

modelo univariado. En el contexto del modelo planteado, si los coeficientes η_1 y η_2 son significativos y positivos, hay “efectos apalancamiento”. La existencia de dichos efectos implica que los impactos informacionales de las malas noticias sobre las volatilidades son mayores que los impactos de las buenas noticias. Así, los efectos apalancamiento denotan que hay efectos asimétricos de la información sobre las volatilidades de las series.

⁸ Los modelos del tipo CCC también fueron estimados usando distribuciones normales multivariadas. Sin embargo, los mismos no se incluyen aquí, debido a que los criterios de información de Akaike (AIC) y de Schwartz (BIC) mostraron que los modelos con distribuciones *t* de *Student* multivariadas tenían una mejor bondad de ajuste.

⁹ Las estimaciones de los modelos incluyen estimaciones de los estadísticos *log-likelihood*,

complementa con estimaciones de las varianzas, covarianzas y correlaciones condicionales asociadas a las estimaciones.

Base de datos y estadística descriptiva

La base de datos utilizada aquí incluye series mensuales del IGAE y de los precios del petróleo MAYA y MME para el periodo comprendido entre enero de 1993 y diciembre de 2019. Estas series incluyen 324 observaciones mensuales cada una. Los datos del IGAE miden la actividad económica con base en el año 2013 y están ajustados estacionalmente. Los precios del petróleo se miden en dólares nominales por barril sin ajustar estacionalmente.¹⁰ Las series de variaciones mensuales en términos porcentuales de los precios del petróleo y de la actividad económica se construyen usando la ecuación (1). Estas series incluyen 323 observaciones mensuales cada una.

El cuadro 1 muestra las estimaciones de estadística descriptiva y de las pruebas de normalidad de las series originales. El cuadro muestra que las series manifestaron ciertas regularidades. Las principales fueron: 1) en promedio, el IGAE tuvo valores de 87.58 puntos; 2) el precio promedio del petróleo del tipo MAYA fue de 44.09 dólares por barril; 3) el precio promedio del petróleo del tipo MME fue de 45.43 dólares

average log-likelihood y de los criterios de información de Akaike (AIC), de Schwartz (BIC) y de Hannan-Quinn (HQC). Estas estimaciones se incluyen por complementariedad.

¹⁰ Si bien resulta poco común utilizar variables reales y nominales, debe señalarse que aquí se sigue la práctica propuesta por [Hamilton \(1983, 2011\)](#). Las series fueron obtenidas del INEGI y la Secretaría de Energía (SENER).

por barril; 4) la variabilidad relativa de los precios de la MME, medida en términos del coeficiente de variación, fue más baja que aquella de los precios del petróleo MAYA; y 5) ninguna de las series se distribuyó normalmente.¹¹

Cuadro 1
Estadísticas descriptivas y pruebas de normalidad
de las series originales

Estadístico	IGAE	MAYA	MME
Media	87.5826	44.0910	45.4261
Mínimo	113.8233	118.0266	120.2521
Máximo	59.6895	6.3492	7.8890
Desviación estándar	15.3695	30.0335	30.1342
Coeficiente de variación	0.1755	0.6812	0.6634
Sesgo	0.0393	0.6755	0.7013
Curtosis	2.0018	2.2623	2.3028
Jarque-Bera	13.5342	31.9853	33.1196
Probabilidad	0.0012	0.0000	0.0000
Observaciones	324	324	324

Fuente: elaboración propia.

La figura 1 y el cuadro 2 validan, en principio, la conveniencia de usar modelos de la familia GARCH para describir las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y la actividad económica. Particularmente, la figura 1 muestra que todas las series exhiben comportamientos no lineales, clusters de volatilidad, volatilidades no constantes y movimientos conjuntos de medias y varianzas.

¹¹ En todas las pruebas estimadas en esta investigación se utiliza un nivel de significancia del diez por ciento, para fines de contrastación de hipótesis.

Figura 1
Series de variaciones porcentuales

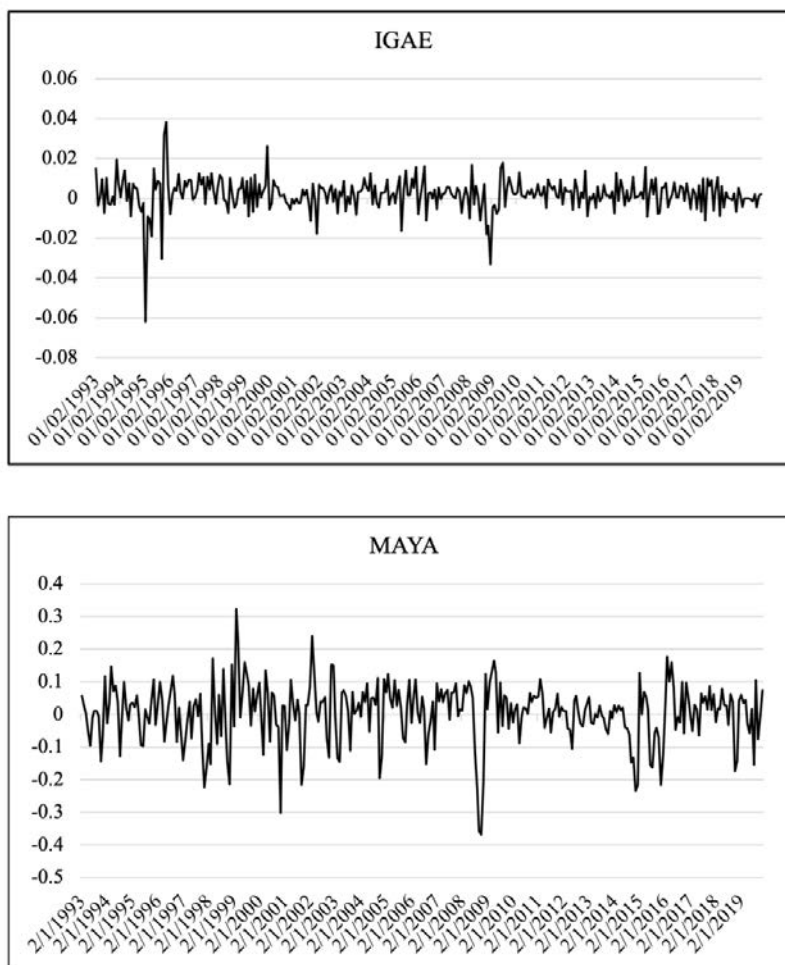
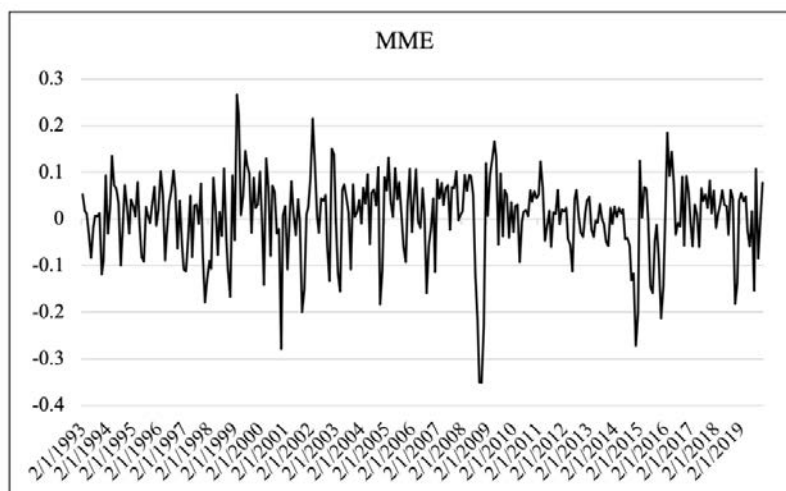


Figura 1
Continuación...



Nota: las series muestran las variaciones mensuales de los datos originales en términos porcentuales. El IGAE está expresado en términos reales (base 2013 = 100) y ajustado estacionalmente. Los precios del barril de petróleo de los tipos MME y MAYA están expresados en dólares nominales y sin ajuste estacional. Las series comprenden datos para el periodo de febrero de 1993 a diciembre de 2019.

Fuente: elaboración propia.

El cuadro 2, por su parte, muestra que las distribuciones de las series de variaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica son asimétricas y leptocúrticas. Además, las pruebas de normalidad Jarque-Bera validan que ninguna de las series se distribuye normalmente.

El cuadro 3 muestra las correlaciones *pairwise* de las series de variaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica. En él se encuentra que las correlaciones entre las series de los precios del petróleo son significativas. Este hallazgo confirma que los precios del petróleo MAYA y MME tienen dinámicas similares. El cuadro también

muestra que la correlación entre las series del IGAE y el precio del petróleo MAYA (0.0724) es mayor que la correlación entre las series del IGAE y el precio de la MME (0.0586). Así, la evidencia muestra que las variaciones de la actividad económica están más correlacionadas a los precios del petróleo MAYA que a los precios de la MME.

Cuadro 2
Estadísticas descriptivas y pruebas de normalidad de
las series de variaciones

Estadístico	IGAE	MAYA	MME
Media	0.0019	0.0047	0.0043
Mínimo	0.0383	0.3242	0.2670
Máximo	-0.0620	-0.3686	-0.3518
Desviación estándar	0.0083	0.0909	0.0863
Coefficient de variación	4.4497	19.1707	20.0093
Sesgo	-1.4185	-0.7462	-0.8534
Curtosis	15.5858	4.9047	4.9228
Jarque-Bera	2240.1550	78.8022	88.9691
Probabilidad	0.0000	0.0000	0.0000
Observaciones	323	323	323

Nota: las estadísticas describen las características de las distribuciones de las variaciones mensuales de los datos originales en términos porcentuales. La prueba de normalidad estimada es la Jarque-Bera.

Fuente: elaboración propia.

Los principales hallazgos del análisis estadístico durante el periodo analizado muestran que: 1) en promedio, el IGAE tuvo valores de 87.58 puntos; 2) los precios promedio del petróleo MAYA y MME fueron de 44.09 y 45.43 dólares por barril; 3) las series de variaciones de las tres variables exhibieron comportamientos no lineales, curtosis excesi-

vas, clusters de volatilidad, volatilidades no constantes, distribuciones no normales y movimientos conjuntos de medias y varianzas; y, 4) las variaciones de la actividad económica estuvieron más correlacionadas a los precios del petróleo MAYA que a los precios de la MME.

Cuadro 3
Correlaciones *pairwise* de las series de variaciones

Estadístico	IGAE	MAYA	MME
IGAE	1.0000		
	—	0.	0.
MAYA	0.0724	1.0000	
	0.1943	—	0.
MME	0.0586	0.9891	1.0000

Nota: las correlaciones *pairwise* se denotan en negritas. Los *p-values* se denotan en itálicas. Los tres asteriscos denotan niveles de significancia de 1%.

Análisis de raíces unitarias y de efectos ARCH

Metodológicamente, los análisis de raíces unitarias y de efectos ARCH se usan para justificar el uso de las series de variaciones. Los modelos GARCH multivariados requieren que las series sean estacionarias y que manifiesten efectos ARCH. Particularmente, aquí se usa la prueba ADF para establecer el orden de integración de las series. Asimismo, se usan las pruebas de efectos ARCH multivariados basadas en los estadísticos $Q(m)$, Rho , $Qk(m)$ y $Qk(m)$ robusto. Por simplicidad, los resultados de las pruebas se muestran en cuadros. El cuadro 4 muestra los resultados de las pruebas ADF. El cuadro 5, por su parte, muestra los resultados de las pruebas de efectos ARCH multivariados.

Cuadro 4
Pruebas ADF de las series en niveles y diferencias

Serie	Niveles			Primeras diferencias			$I(d)$
	Estadístico	Rezagos	p -value	Estadístico	Rezagos	p -value	
IGAE	-2.3376	0	0.4119	-17.9889	0	0.0000	I(1)
MAYA	-2.4883	1	0.3338	-12.4525	0	0.0000	I(1)
MME	-2.4755	1	0.3402	-12.2730	0	0.0000	I(1)

Nota: las ecuaciones auxiliares de las pruebas suponen que hay una tendencia lineal e intercepto. El número de rezagos se estima con base en el criterio de información de Schwartz (BIC). Los p -values se estiman con base en los estimadores de [MacKinnon \(1994\)](#). El criterio de decisión supone un nivel de significancia del 5%. Las series en niveles son aquellas cuyos datos originales se expresan en algoritmos. Las series en diferencias son las series de variaciones.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5
Pruebas de efectos ARCH multivariados

Prueba	IGAE-MAYA		IGAE-MME	
	Estadístico	p -value	Estadístico	p -value
Q(m) (LM-test)	10.5275	0.0012	12.2716	0.0005
Rank based test (Rho)	19.5518	0.0000	16.1028	0.0001
Qk(m)	75.8085	0.0000	88.8141	0.0000
Qk(m) Robusto	35.1573	0.0000	25.2560	0.0000

Nota: la hipótesis nula de las pruebas supone que no existen efectos ARCH multivariados ([Tsay, 2014](#)). Los estadísticos se estiman con las series de residuales estandarizados obtenidos de un modelo de vectores autorregresivos VAR(1). Los modelos VAR utilizados son aquellos que estiman las relaciones de cada par de series de variaciones mensuales.

Fuente: elaboración propia.

Los cuadros 4 y 5 sugieren que las series de variaciones son elegibles para ser analizadas usando los modelos GARCH multivariados. Particularmente, el cuadro 4 muestra que todas las series en niveles son integradas de orden uno, $I(1)$.¹² Este hallazgo implica que todas las series en diferencias, como las series de variaciones, son estacionarias de manera individual. Más aun, implica que las series no son susceptibles de inducir problemas de correlación espuria.¹³ El cuadro 5, por su parte, muestra que los dos pares de las series de variaciones manifiestan conjuntamente efectos ARCH. Todas las pruebas confirmaron este hallazgo para los pares de series IGAE-MAYA e IGAE-MME.

Los hallazgos de los análisis de raíces unitarias y de efectos ARCH pueden sintetizarse de la siguiente manera: 1) las series de los datos originales expresados en logaritmos son integradas de orden uno, $I(1)$; 2) las series de variaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica son estacionarias de manera individual; 3) las series de los datos originales expresados en logaritmos son susceptibles de inducir correlaciones espurias; 4) los dos pares de las series de variaciones, IGAE-MAYA e IGAE-MME, manifiestan conjuntamente efectos ARCH; y, 5) únicamente las series de variaciones son elegibles para el análisis econométrico mediante modelos GARCH multivariados.

¹² Aquí se sigue la convención econométrica sobre el uso de series en niveles y en diferencias para analizar su orden de integración. Las series en niveles son aquellas con datos originales expresados en logaritmos. Las series en diferencias son las series de variaciones.

¹³ Las correlaciones espurias son inducidas por el manejo de datos, por tanto, realmente no existen. Véase [Kendall y Buckland \(1971: 143\)](#) para una definición detallada de dicha correlación.

Análisis econométrico multivariado

Los modelos GARCH multivariados se usan aquí para analizar las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica. Particularmente, el modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1) requiere la estimación de dieciséis parámetros asociados a los vectores de las medias condicionales, a la matriz de varianza-covarianza condicional y a la distribución de los errores. Las estimaciones del modelo se muestran en cuadros.¹⁴ Así, el cuadro 6 muestra las estimaciones para las series de variaciones del IGAE y del petróleo MAYA. El cuadro 7, por su parte, muestra las estimaciones para las series de variaciones del IGAE y del petróleo MME.

El cuadro 6 muestra las estimaciones del modelo para las series de variaciones del IGAE y del petróleo MAYA. En él, tres de los parámetros de las medias son significativos (ϕ_1, ϕ_2, ϕ_6). También, muestra que cinco de los parámetros de las varianzas y covarianzas condicionales son significativos ($\omega_1, \beta_1, \omega_2, \beta_2, \rho$). El cuadro muestra, además, que los parámetros de las especificaciones TGARCH y de los grados de libertad son significativos y positivos (η_1, η_2, ν), validándose la existencia de efectos de apalancamiento y de una distribución *t* de *Student* multivariada. Por tanto, el modelo tiene un total de once parámetros significativos de un total de dieciséis.

El cuadro 7 muestra las estimaciones del modelo para las series de variaciones del IGAE y del petróleo MME. Las estimaciones confirman la mayoría de los hallazgos previos. Particularmente, el cuadro

¹⁴ Los modelos del tipo CCC son estimados aquí usando los algoritmos de optimización Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) y *Marquardt steps*.

confirma que los mismos tres parámetros de las medias son significativos (ϕ_1, ϕ_2, ϕ_6) . También, confirma que los cuatro parámetros de las varianzas condicionales son significativos $(\omega_1, \beta_1, \omega_2, \beta_2)$. Sin embargo, a diferencia del modelo previo, el parámetro de la correlación condicional no resulta significativo. El cuadro confirma, además, que los parámetros de las especificaciones TGARCH y de los grados de libertad son significativos y positivos (η_1, η_2, ν) .

Los cuadros 6 y 7 muestran que hay dinámicas e interrelaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica que son estadísticamente válidas. Estas dinámicas e interrelaciones son las siguientes: 1) la dinámica de cada variable, medida en términos de su vector de media condicional, está condicionada únicamente por sus rezagos; 2) la actividad económica esta inversamente relacionada con sus rezagos, $\phi_2 < 0$; 3) los precios del petróleo están directamente relacionados con sus rezagos, $\phi_6 > 0$; y, 4) las interrelaciones entre las variables no se manifiestan en los vectores de la media condicional, $\phi_3 = \phi_5 = 0$, pero sí en la matriz de varianza-covarianza, $\rho > 0$.¹⁵

La evidencia también sugiere que las relaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica son mejor descritas cuando se usan las series de variaciones del IGAE y del petróleo MAYA. En la estimación que utiliza estas series, ocurre que el 69 por ciento de los parámetros estimado es significativo (11 de 16). Asimismo, hay un coeficiente de correlación positivo, $\rho > 0$, lo cual denota interrelaciones directas entre las volatilidades de las series de variaciones mensuales.

¹⁵ Debe reconocerse que si bien ambas estimaciones muestran que $\rho > 0$, dicho parámetro es estadísticamente significativo en el modelo que vincula las series de variaciones del IGAE y los precios del petróleo MAYA.

Además, ambos cuadros reportan que los precios del petróleo son más sensibles ante las malas noticias que la actividad económica.

Las figuras 2 y 3 muestran las varianzas, covarianzas y correlaciones condicionales asociadas a las estimaciones. Particularmente, la figura 2 muestra las estimaciones del modelo que utiliza las variaciones del IGAE y del petróleo MAYA. Las covarianzas y correlaciones promedio fueron, respectivamente, 0.000074 y 0.115235. La figura 3 muestra las estimaciones del modelo que utiliza las variaciones del IGAE y del petróleo MME. Las covarianzas y correlaciones promedio fueron, respectivamente, 0.000062 y 0.102174. Se reportan los promedios porque los mismos confirman la pertinencia de la estimación que usa las series de variaciones del IGAE y del petróleo MAYA.

Los hallazgos del análisis econométrico pueden sintetizarse de la siguiente manera: 1) el modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1) con una distribución t de *Student* multivariada puede modelar las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y la actividad económica; 2) el modelo estimado para las series de variaciones del IGAE y del petróleo MAYA es el más adecuado para describir las mencionadas relaciones; 2) las dinámicas de las series están condicionadas directamente por sus rezagos; 3) las interrelaciones entre las series se manifiestan en la matriz de varianza-covarianza; 4) hay interrelaciones directas entre las volatilidades de las series; y, 5) existen efectos de apalancamiento en las dinámicas de las volatilidades de las series.

Cuadro 6
Estimación del modelo VAR(1)-TGARCH-CCC(1,1) para las
series de variaciones del IGAE y de los precios del petróleo MAYA

Parámetro	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	<i>p-value</i>
<i>Ecuaciones de la media</i>				
ϕ_1	0.0024	0.0004	6.2705	0.0000
ϕ_2	-0.2065	0.0557	-3.7055	0.0002
ϕ_3	-0.0026	0.0040	-0.6585	0.5102
ϕ_4	0.0032	0.0043	0.7311	0.4647
ϕ_5	0.3351	0.4754	0.7049	0.4809
ϕ_6	0.2938	0.0570	5.1571	0.0000
<i>Ecuaciones de la varianza y covarianza</i>				
ω_1	0.0000	0.0000	2.8471	0.0044
α_1	0.0388	0.0664	0.5841	0.5591
η_1	0.1747	0.0925	1.8882	0.0590
β_1	0.7048	0.0836	8.4312	0.0000
ω_2	0.0009	0.0004	2.1042	0.0354
α_2	0.0336	0.1009	0.3330	0.7391
η_2	0.3151	0.1541	2.0442	0.0409
β_2	0.7033	0.0956	7.3529	0.0000
ρ	0.1152	0.0661	1.7423	0.0814
<i>Distribución t (grados de libertad)</i>				
v	6.6383	1.2775	5.1962	0.0000
Log likelihood	1512.8260		BIC	-9.1095
Log likelihood prom.	2.3491		HQC	-9.2222
AIC	-9.2971			

Nota: el modelo se estima usando el método de máxima verosimilitud y los algoritmos VFGS/*Marquandt steps*. Los supuestos del modelo son los siguientes: 1) las correlaciones condicionales entre las series de variaciones son constantes en el tiempo; 2) los coeficientes ARCH, TARCH y GARCH son escalares constantes; y 3) los errores siguen una distribución *t* de *Student* multivariada. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 7
Estimación del modelo VAR(1)-TGARCH-CCC(1,1) para las
series de variaciones del IGAE y de los precios del petróleo MME

Parámetro	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	<i>p-value</i>
ϕ_1	0.0024	0.0004	6.2989	0.0000
ϕ_2	-0.2063	0.0558	-3.6981	0.0002
ϕ_3	-0.0022	0.0043	-0.5154	0.6063
ϕ_4	0.0036	0.0042	0.8686	0.3851
ϕ_5	0.3636	0.5030	0.7229	0.4698
ϕ_6	0.2888	0.0575	5.0193	0.0000
<i>Ecuaciones de la media</i>				
ω_1	0.0000	0.0000	2.8501	0.0044
α_1	0.0432	0.0672	0.6433	0.5200
η_1	0.1715	0.0931	1.8435	0.0653
β_1	0.7043	0.0830	8.4806	0.0000
ω_2	0.0011	0.0006	2.0451	0.0408
α_2	0.0428	0.1116	0.3833	0.7015
η_2	0.2928	0.1568	1.8671	0.0619
β_2	0.6584	0.1191	5.5296	0.0000
ρ	0.1022	0.0653	1.5648	0.1176
<i>Distribución t (grados de libertad)</i>				
v	6.7213	1.3118	5.1236	0.0000
Log likelihood	1524.9140		BIC	-9.1846
Log likelihood prom.	2.3679		HQC	-9.2973
AIC	-9.3721			

Nota: el modelo se estima usando el método de máxima verosimilitud y los algoritmos VFGS/*Marquandt steps*. Los supuestos del modelo son los siguientes: 1) las correlaciones condicionales entre las series de variaciones son constantes en el tiempo; 2) los coeficientes ARCH, TARCH y GARCH son escalares constantes; y 3) los errores siguen una distribución *t* de *Student* multivariada. Fuente: elaboración propia.

Figura 2

Varianzas, covarianzas y correlaciones condicionales para las series de variaciones del IGAE y de los precios del petróleo MAYA

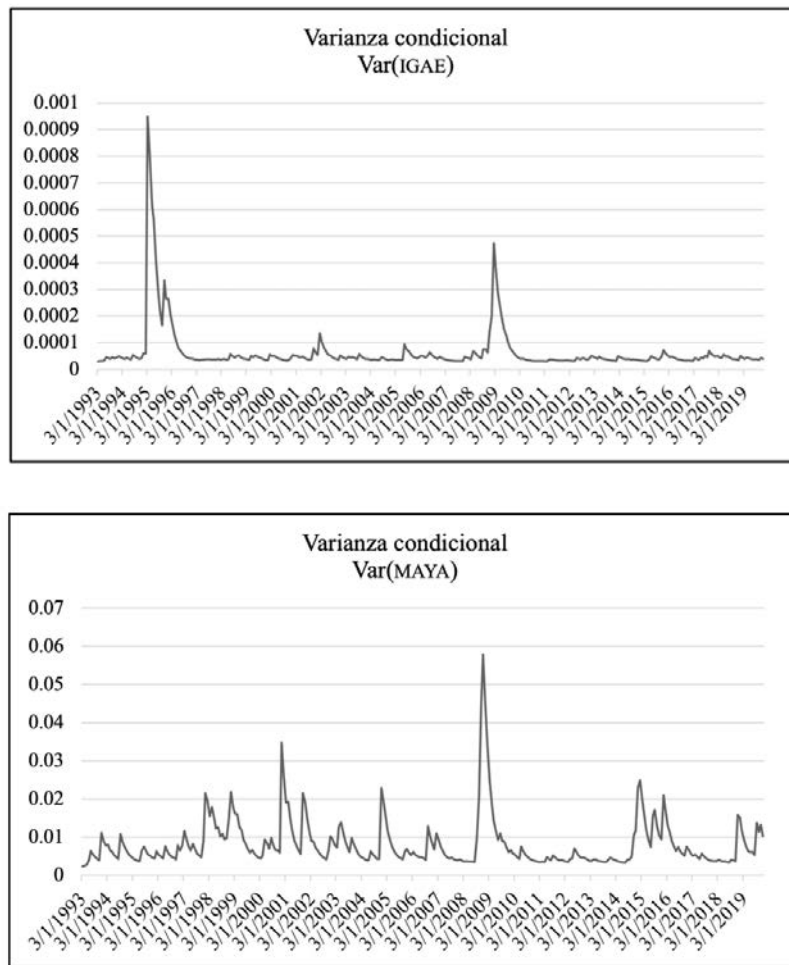
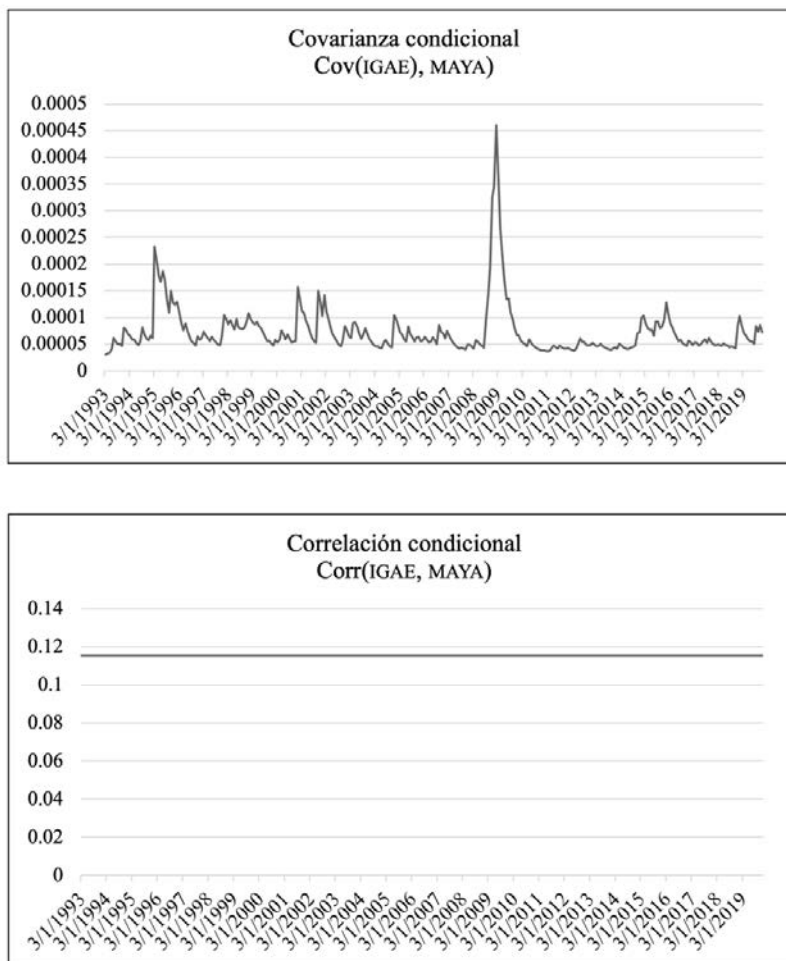


Figura 2
Continuación...



Nota: las varianzas, covarianzas y correlación condicionales son estimadas con base en el modelo VAR(1)-TGARCH-CCC(1, 1). Las series comprenden datos para el periodo de marzo de 1993 a diciembre de 2019.

Fuente: elaboración propia.

Figura 3

Varianzas, covarianzas y correlaciones condicionales para las series de variaciones del IGAE y de los precios del petróleo MME

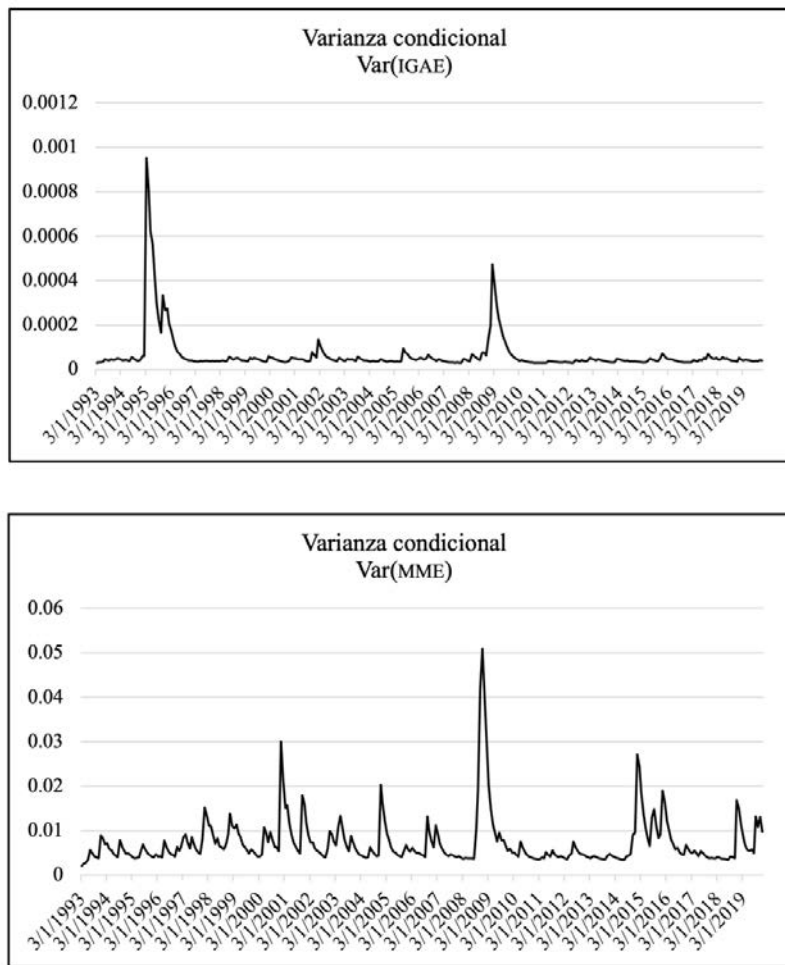
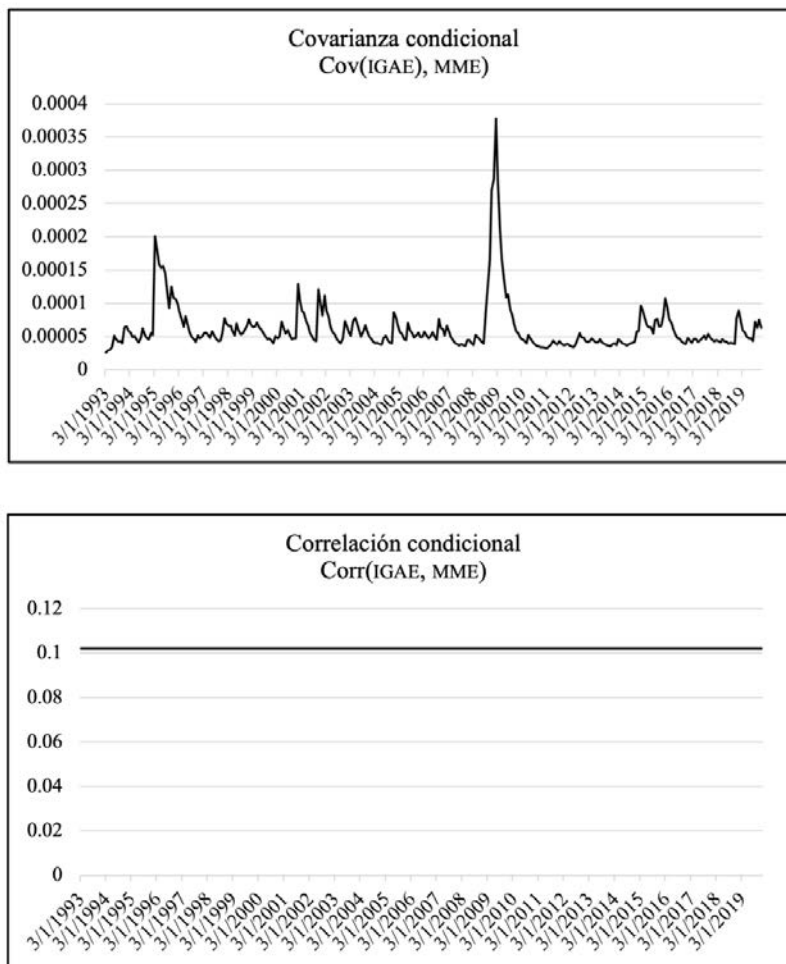


Figura 3
Continuación...



Nota: las varianzas, covarianzas y correlación condicionales son estimadas con base en el modelo VAR(1)-TGARCH-CCC(1, 1). Las series comprenden datos para el periodo de marzo de 1993 a diciembre de 2019.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones y discusión

En esta investigación se han estudiado económicamente las dinámicas, volatilidades e interrelaciones entre los precios del petróleo y la actividad económica en México. El estudio se ha sustentado en estadísticas descriptivas, correlaciones pairwise, pruebas de raíz unitaria y de efectos ARCH multivariados y estimaciones de un modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1). El modelo se ha utilizado para analizar las series de variaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica. La muestra usada ha incluido series mensuales del indicador IGAE y de los precios del petróleo MAYA y MME para el periodo comprendido entre enero de 1993 y diciembre de 2019.

Los hallazgos del análisis estadístico de este estudio, durante el periodo analizado, muestran que: 1) en promedio, el IGAE tuvo valores de 87.58 puntos; 2) los precios promedio del petróleo MAYA y MME fueron, respectivamente, de 44.09 y 45.43 dólares por barril; 3) las series de variaciones de las tres variables exhibieron comportamientos no lineales, curtosis excesivas, clusters de volatilidad, volatilidades no constantes, distribuciones no normales y movimientos conjuntos de medias y varianzas; y, 4) las variaciones de la actividad económica estuvieron más correlacionadas con los precios del petróleo MAYA que a los de la MME.

Los resultados de los análisis de raíces unitarias y de efectos ARCH pueden sintetizarse de la siguiente manera: 1) Las series de datos originales expresados en logaritmos son integradas de orden uno, $I(1)$; 2) las series de variaciones de los precios del petróleo y de la actividad económica son estacionarias de manera individual; 3) las series de los datos originales expresados en logaritmos son susceptibles de inducir

correlaciones espurias; 4) los dos pares de las series de variaciones, IGAE-MAYA e IGAE-MME, manifiestan conjuntamente efectos ARCH; y, 5) únicamente las series de variaciones son elegibles para el análisis econométrico mediante modelos GARCH multivariados.

Las estimaciones del análisis econométrico pueden sintetizarse de la siguiente manera: 1) el modelo VAR(1)-CCC(1,1)-TGARCH(1) con una distribución *t* de *Student* multivariada puede modelar las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los precios del petróleo y la actividad económica; 2) el modelo estimado para las series de variaciones del IGAE y del petróleo MAYA es el más adecuado que describir las mencionadas relaciones; 3) las dinámicas de las series están condicionadas directamente por sus rezagos; 4) las interrelaciones entre las series se manifiestan en la matriz de varianza-covarianza; 5) hay interrelaciones directas entre las volatilidades de las series; y, 6) existen efectos apalancamiento en las dinámicas de las volatilidades de las series.

Los hallazgos tienen implicaciones para la planeación, la ejecución y el análisis de políticas energéticas y económicas. Particularmente, los efectos apalancamiento evidencian que la actividad económica y, en particular, los precios del petróleo son muy vulnerables ante los *shocks* informacionales (es decir, “malas noticias”). La covarianza condicional positiva, por otra parte, implica que hay mecanismos de transmisión y retroalimentación directa entre las volatilidades de los precios del petróleo y de la actividad económica. La estabilidad de la economía, por tanto, dependería de que hubiera buenas prácticas de cobertura y de administración de riesgos ante las variaciones de los precios del petróleo.

Finalmente, debe señalarse que se requieren investigaciones adicionales sobre las relaciones entre los precios del petróleo y la actividad

económica. La pertinencia de dichas investigaciones se hace manifiesta si se considera que el petróleo y sus derivados seguirán siendo importantes para la economía mexicana. Las finanzas públicas y el desarrollo del país, en el mediano plazo, seguirán dependiendo del petróleo. Particularmente, son necesarios estudios que analicen de manera más profunda las matrices de varianza-covarianza, las especificaciones del impacto de los *shocks* informacionales y las distribuciones de las perturbaciones de las series.

Referencias

- Alao, R. O., y Payaslioglu, C. (2020), An assessment of oil price fluctuation on net oil-importer countries' economic activity, *International Journal of Management and Applied Science* 6(7): 112-118.
- Alao, R. O., y Payaslioglu, C. (2021), Oil price uncertainty and industrial production in oil-exporting countries, *Resources Policy* 70(1), 101957.
- Alarco Tosoni, G. (2006), La evolución del precio del petróleo crudo y la economía de México, 1975-2004, *Comercio Exterior* 56(9): 930-944.
- Barski, R. B. y Kilian, L. (2004), Oil and the macroeconomy since the 1970s, *Journal of Economic Perspectives* 18(4): 115-134.
- Bauwens, L.; Laurent, S. y Rombouts, J. (2006), "Multivariate GARCH models: A survey, *Journal of Applied Econometrics* 21(1): 79-109.
- Blecker, R. A. (2009), External shocks, structural change, and economic growth in Mexico, 1979-2007, *World Development* 37(7): 1274-1284.
- Bollerslev, T. (1990), Modeling the coherence in short-run nominal exchange rates: A multivariate generalized ARCH model, *Review of Economics and Statistics* 72(3): 498-505.
- Brown, S. P. A. y Yucel, M. (2002), Energy prices and aggregate economic activity: An interpretative survey, *Quarterly Review of Economics and Finance* 42(2): 193-208.
- Colmenares, F. (2008), Petróleo y crecimiento económico en México 1938-2006, *Eco-*

- nomíaUnam* 5(15): 53-65.
- Cunado, J. y Pérez-de-Gracia, F. (2005), Oil prices, economic activity and inflation: Evidence for some Asian countries, *The Quarterly Review of Economics and Finance* 45(1): 65-83.
- Dufour, J. M. y Roy, R. (1985), Some robust exact results on sample autocorrelations and tests of randomness, *Journal of Econometrics* 29(3): 257-273.
- Dufour, J. M. y Roy, R. (1986), Generalized Portmanteau statistics and tests of randomness, *Communications in Statistics-Theory and Methods* 15(10): 2953-2972.
- Engle, R. F., y Sheppard, K. (2001), Theoretical and empirical properties of dynamic conditional correlation multivariate GARCH, w8554, National Bureau of Economic Research.
- Engle, R. F. (2002), Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models, *Journal of Business & Economic Statistics* 20(3): 339-350.
- Ftiti, Z.; Guesmi, K.; Teulon, F., y Chouachi, S. (2016), Relationship between crude oil prices and economic growth in selected OPEC countries, *Journal of Applied Business Research* 32(1): 11-22.
- González, S. y Hernández, E. (2016), Impactos indirectos de los precios del petróleo en el crecimiento económico colombiano, *Lecturas de Economía* (84): 103-141.
- Guo, H. y Kliesen, K. L. (2005), Oil price volatility and US macroeconomic activity, *Federal Reserve Bank of St. Louis Review* 87(6): 669-683.
- Hamilton, J. D. (1983), Oil and the macroeconomy since World War II, *Journal of Political Economy* 91(2): 228-248.
- Hamilton, J. D. (2011), Nonlinearities and the macroeconomic effects of oil prices, *Macroeconomic Dynamics* 15(S3): 364-378.
- Isah, A.; Dikko, H. G., y Chinyere, E. S. (2015), Modeling the impact of crude oil price shocks on some macroeconomic variables in Nigeria using GARCH and VAR models, *American Journal of Theoretical and Applied Statistics* 4(5): 359-367.
- Kendall, M. G. y Buckland, W. R. (1971), *A Dictionary of Statistical Terms*, tercera edición, Hafner Publishing Company, Edinburgo.
- Li, W. K. (2004), *Diagnostic Checks in Time Series*, Chapman & Hall/CRC, Boca Ratón.

- Lorenzo-Valdés, A.; Armenta-Fraire, L., y Durán-Vázquez, R. (2016), A copula-TGARCH approach of conditional dependence between oil price and stock market index: The case of Mexico, *Estudios Económicos* 31(1): 47-63.
- Lorenzo-Valdés, A., y Ruiz-Porras, A. (2019), Conditional dependence between oil and exchange rate returns in a developing oil-exporting economy: An investigation with copula-based TGARCH models, *International Journal of Global Energy Issues* 42(1/2): 21-44.
- MacKinnon, J. G. (1994), Approximate asymptotic distribution functions for unit-root and cointegration tests, *Journal of Business and Economic Statistics* 12(2): 167-176.
- Mohaddes, K., y Pesaran, M. H. (2017), Oil prices and the global economy: Is it different this time around?, *Energy Economics* 65(1): 315-325.
- Narayan, P. K.; Sharma, S.; Poon, W. C., y Westerlund, J. (2014), Do oil prices predict economic growth? New global evidence, *Energy Economics* 41(1): 137-146.
- Perilla-Jiménez, J. R. (2010), El impacto de los precios del petróleo sobre el crecimiento económico en Colombia, *Revista de Economía del Rosario* 13(1): 75-116.
- Puyana, A., y Romero, J. A. (2008), El petróleo y el crecimiento económico mexicano: Un recuento de oportunidades perdidas, en Fontaine, G. y Puyana, A. (coords.), *Guerra del Fuego: Políticas Petroleras y Crisis Energética en América Latina*, FLACSO, Sede Ecuador & Ministerio de Cultura del Ecuador, Quito, Ecuador, pp. 129-146.
- Rahman, S., y Serletis, A. (2012), Oil price uncertainty and the Canadian economy: Evidence from a VARMA, GARCH-in-Mean, asymmetric BEKK model, *Energy Economics* 34(2): 603-610.
- Rodríguez-Benavides, D. y López-Herrera, F. (2019), Efectos de la incertidumbre de los precios del petróleo en el crecimiento económico de México, *Investigación Económica* 78(309): 80-106.
- Rubio-Varas, MdM. (2015), Oil illusion and delusion: Mexico and Venezuela over the twentieth century, en Badia-Miró, M., Pinilla, V. y Willebald, H. (ed.), *Natural Resources and Economic Growth: Learning from History*, Routledge, Abingdon, Inglaterra, pp. 160-183.
- Ruiz-Porras, A. y Anguiano-Pita, J. E. (2016), Modelación de las dinámicas, volatilidades e interrelaciones de los rendimientos del petróleo mexicano, Brent y WTI,

- Ensayos, Revista de Economía* 35(2): 175-194.
- Silvennoinen, A. y Teräsvirta, T. (2009), Multivariate GARCH models, en Andersen, T. G.; Davis, R. A.; Kreiß, J. P. y Mikosch, T. (ed.), *Handbook of Financial Time Series*, Springer-Verlag, Berlín, Alemania, pp. 201-229.
- Tsay, R. S. (2013), *Multivariate Time Series Analysis: With R and Financial Applications*, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Zakoian, J. M. (1994), Threshold heteroskedastic models, *Journal of Economic Dynamics and Control* 18(5): 931-955.

CAPÍTULO 3

Causalidad entre el consumo energético sectorial y el crecimiento económico

Ricardo Pérez Navarro
L. Arturo Bernal Ponce
Isaí Guízar Mateos

El uso eficiente de la energía eléctrica es importante para el crecimiento sostenible, así como para las estrategias de desarrollo socioeconómico de los países (Nguyen y Ngoc, 2020). Una forma de analizar la implementación eficiente de políticas energéticas de manera estratégica, es verificando las relaciones de causalidad entre demanda energética y crecimiento económico (Syzdykova *et al.*, 2020). Al respecto, dicha relación de causalidad ha sido abordada por diversos trabajos empíricos (por ejemplo Apergis y Payne, 2011), empleando enfoques como la descomposición de varianza (Sari y Soytas, 2004; Ewing, 2007) o el enfoque de Toda-Yamamoto (Payne, 2009; Bowden y Payne, 2010).

Hasta ahora sigue sin haber un consenso sobre la dirección de la causalidad (Syzykova *et al.*, 2020); mientras que algunos estudios han encontrado una relación de causalidad unidireccional que va del crecimiento económico al consumo de energía (Faisal *et al.*, 2017), otros afirman que la causalidad va del uso de energía al crecimiento económico (Yildirim, *et al.* 2014), o que sólo los choques negativos de consumo de energía tienen un impacto significativo sobre el crecimiento. Otros estudios documentan que no hay una relación causal entre dichas variables (Primayesa y Putra, 2017), o que la relación es bidireccional (Dogan, 2014; Wang *et al.*, 2019; Rezitis y Ahammad, 2015). Esto se debe en parte a los diferentes patrones de consumo de energía en cada país, así como a las diferencias en el tamaño de su economía (Ekeocha *et al.*, 2020). La evidencia empírica ha comprobado que la heterogeneidad en los resultados se genera cuando dicha relación se analiza de manera agregada, respecto de realizar el análisis por sectores. Asimismo, el análisis agregado pudiese evidenciar erróneamente que no existe una relación de largo plazo entre las variables y, por tanto, mostrar evidencia no significativa de causalidad (Hu y Lin, 2013).

El presente estudio busca profundizar en la relación causal entre consumo energético y crecimiento económico a nivel sectorial. Para lo cual, se realiza un análisis de la relación causal, en el sentido de Granger, entre el consumo de energía y el crecimiento económico para los sectores de consumo de México. Se emplea la metodología de Toda y Yamamoto (1995). La relevancia y pertinencia de este estudio radica en que los resultados pueden sugerir hacia qué sectores se debe reducir o incrementar la intensidad de la generación de energía (*energy intensity*) o en qué sectores enfocar los esfuerzos en materia energética, tal como la inversión (Tzeremes, 2018; Saldivia *et al.*, 2020). Los

resultados sugieren que imponer restricciones a los diferentes sectores que inciden en el crecimiento puede propiciar efectos adversos para la economía (Hu y Lin, 2013). En cuanto a trabajos similares, Bowden y Payne (2010) realizan un estudio de causalidad, aunque se limitan al nivel de los sectores comercial e industrial en Estados Unidos.

El presente trabajo se estructura en tres secciones, en la primera se realiza un análisis de aspectos teóricos relevantes, en la segunda se presenta la metodología y en la tercera los resultados. Finalmente se presentan conclusiones.

Aspectos teóricos relevantes

En cuanto a la relación entre energía y crecimiento económico, Tiba y Omri (2017) exponen que en la literatura se han concebido cuatro distintas hipótesis. La primera, *hipótesis de crecimiento*, muestra una relación de causalidad unidireccional del consumo de energía sobre el ingreso, de tal forma que políticas enfocadas a reducir el consumo de energía generarán un efecto adverso en crecimiento. Bajo la segunda, *hipótesis de conservación*, se agrupan estudios que exponen una relación unidireccional en el sentido contrario, de crecimiento hacia el consumo de energía, de esta manera las perturbaciones en la oferta de energía tendrán un efecto débil o nulo en el crecimiento. En la tercera, *hipótesis de retroalimentación*, la relación de causalidad fluye en ambas direcciones. En dicho escenario, las estrategias encaminadas a reducir el consumo de energía impactarán de forma adversa en el crecimiento y, de la misma manera, cambios en el ritmo de crecimiento afectarán el consumo de energía. Bajo la cuarta, *hipótesis de neutralidad*, se deduce que no existe una relación de causalidad entre las dos variables.

Los análisis entre el consumo energético y crecimiento económico en Latinoamérica pueden separarse en dos grupos: consumo de energías renovables y consumo agregado. En el primero se encuentran estudios como [Pao y Fu \(2013\)](#), quienes aplican un modelo de vector de corrección de errores para Brasil. Encuentran una relación unidireccional del consumo de energía renovable (no-hidroeléctrica) al crecimiento económico, y otra bidireccional, entre crecimiento y consumo de energía renovable total. Por su parte, [Mele \(2019\)](#) halla una relación de causalidad entre el consumo de energía renovable y el ingreso en México. [Apergis y Payne \(2011\)](#) estudian esa relación en Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá en un modelo de corrección de errores para datos en panel. Concluyen que la relación es bidireccional. [Destek y Aslan \(2017\)](#) examinan dicha relación en países como Perú, Colombia y México. Encuentran que el consumo de energía renovable causa crecimiento económico en Perú, mientras que el de energía no renovable causa crecimiento en Colombia y México. Entre las investigaciones que realizan el análisis a nivel agregado en Latinoamérica se encuentra la de [Pastén *et al.* \(2015\)](#), un estudio para 16 países que encuentra una fuerte relación de largo plazo entre consumo energético y crecimiento económico, así como causalidad del consumo al crecimiento. Asimismo, [Cheng \(1997\)](#) aplica una prueba modificada de causalidad de Granger para Brasil, México y Venezuela. Para México y Venezuela no encuentran relación de causalidad alguna, pero en Brasil el consumo de energía causa el crecimiento.

Si bien el análisis sobre la validez de las diversas hipótesis es extenso, el tema está lejos de concluirse. Sin embargo, el presente estudio busca contribuir con evidencia sobre esta relación con un análisis para México en el que se distinguen diversos sectores de consumo.

Metodología

Se aplicaron pruebas de raíz unitaria para determinar la estacionariedad de las variables. En específico se emplean las pruebas de [Dickey y Fuller \(1979, 1981\)](#):

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \phi y_{t-1} + \sum_{i=1}^n \phi_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

y la de [Phillips-Perron \(1988\)](#):

$$\Delta_t = y_{t-1} + \sum_{i=1}^n \phi_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (1.1)$$

donde Δ es el operador de primeras diferencias, y_t es la variable de interés y n es el número de rezagos óptimo para asegurar que ε_t es un ruido blanco. La hipótesis nula de la prueba es que la serie es no estacionaria. En caso de presentarse raíz unitaria, se evaluará si existe cointegración entre las variables, empleando la prueba de [Johansen \(1991\)](#), la cual parte de la siguiente especificación general sobre un modelo VAR (vector autorregresivo):

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \cdots + A_\rho y_{t-\rho} + Bx_t + \varepsilon_t, \quad (2)$$

donde y_t es un vector de variables no estacionarias, x_t es un vector de variables determinísticas y ε_t es un vector de innovaciones. La hipótesis nula plantea que las variables no están cointegradas. En caso de existir cointegración aplicaremos la prueba de causalidad de [Granger \(1988\)](#).

En este caso para cada par de variable en el VAR se plantea:

$$y_{i,t} = \alpha_{0,i} + \alpha_1 y_{i,t-1} + \cdots + \alpha_{l,i} y_{i,t-l} + \beta_{1,i} x_{1i,t-1} + \cdots + \beta_{l,i} x_{li,t-1} + e_{it}, \quad (3)$$

$$x_{i,t} = \alpha_{0,i} + \alpha_1 x_{i,t-1} + \cdots + \alpha_{l,i} x_{i,t-l} + \beta_{1,i} y_{1i,t-1} + \cdots + \beta_{l,i} y_{li,t-1} + e_{it}, \quad (4)$$

La hipótesis nula que se evalúa es la de no causalidad. El planteamiento teórico discutido previamente se evaluará considerando la siguiente relación funcional: *Crecimiento economico* = $f(\text{Consumo de energia})$. Como variable representativa del crecimiento económico se empleará la variación del Producto Interno Bruto real¹ y para el consumo de energía se toma tanto el agregado como por sector.²

Los sectores se agrupan en residencial, comercial, público, transporte (a su vez dividido en cinco categorías; autotransporte, aéreo, marítimo, ferroviario y eléctrico) e industrial (dividido en 17 categorías, siendo las más relevantes la siderúrgica, química, azúcar, petroquímica, cemento, minería, cerveza, vidrio y la de celulosa y papel). La información del consumo de energía se expresa en petajoules, unidad de medida utilizada en el Balance Nacional de Energía, equivalente en joules a 10 elevado a la potencia 15.³ Por lo anterior, cada serie de tiempo se analiza en logaritmos, para estandarizar la información con la variable del PIB expresada en porcentaje. El periodo de análisis es

¹ PIB real a precios del 2013, tomado del INEGI.

² Se considerará la información del sistema de información energética de la Secretaría de Energía del Gobierno de México (SENER).

³ Un joule es una unidad de medida de las magnitudes: energía, trabajo y calor, derivada del Sistema Internacional de Unidades, su símbolo es J .

de 1996 a 2018, y considera la información disponible del consumo energético.

Resultados

Las pruebas de raíz unitaria Dickey-Fuller (DFA) y Phillips Perron (PP) sobre el PIB y los niveles de consumo agregado, tanto en sus niveles como en sus diferencias, se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1
México: pruebas de raíz unitaria, crecimiento del PIB
y consumo energético agregado, 1996 a 2018

Variables		Nivel	1a diferencia	Nivel	1a diferencia
		ADF	ADF	PP	PP
Crecimto. PIB	Ninguno				
	Intercepto	0.0061*	0.0009*	0.0052*	0.0000*
	Intercepto y	0.0012*	0.0156*	0.0001*	0.0001*
	tendencia	0.1770	0.0661***	0.0001*	0.0002*
Consumo agregado	Ninguno				
	Intercepto	0.9973	0.0003 *	0.9997	0.0004 *
	Intercepto y	0.7804	0.0002 *	0.8589	0.0002 *
	tendencia	0.3109	0.0014 *	0.2211	0.0017*

* Denota rechazo de no estacionariedad (H_0) con una significancia del 1%, ** significancia del 5% y *** al 10%.

Fuente: elaboración propia con datos de SENER e INEGI.

Los resultados de las pruebas de raíz unitaria muestran que las variables son integradas de orden 1, aunque destaca que el crecimiento

del PIB es estacionario al incluir sólo un rezago y la constante, pero no para la tendencia. Para realizar la verificación de causalidad y cointegración seguimos la metodología de [Toda y Yamamoto \(1995\)](#), por tanto, el último resultado no representaría un problema de estimación espuria. Los resultados de la estadística descriptiva y la prueba de normalidad de las variables se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2
Estadística descriptiva, crecimiento del PIB y
y consumo energético agregado, 1996 a 2018

	Crecimiento del PIB	Consumo agregado
Mediana	3.0960	8.4223
Valor máximo	9.0014	8.5872
Valor mínimo	-1.6007	8.1859
Desviación estándar	2.2981	0.1323
Asimetría	0.5603	-0.1287
Curtosis	4.2196	1.5790
Jarque-Bera	2.6289	1.9986
Probabilidad	0.2686	0.3681

Fuente: elaboración propia con datos de SENER e INEGI.

La estadística descriptiva presenta diferencias sustantivas en la respectiva desviación estándar y la normalidad presente en las dos variables, de acuerdo con el estadístico Jarque-Bera. Se realiza la prueba de cointegración de Johansen con un modelo de vector autorregresivo (VAR), dado el orden máximo de integración y los rezagos óptimos según el criterio de información de Schwarz (cuadros 3 y 4). En los resultados de los cuadros 3 y 4 se puede observar, tanto en la prueba de la traza como en la de máximo valor propio, que se rechaza la hipótesis nula de la no existencia de vectores de cointegración. Lo anterior debido a

que el estadístico de la traza y el de máximo valor propio son mayores que los valores críticos a un nivel de 0.05 de significancia, cuando la hipótesis nula es que no existe algún vector de cointegración. Una consecuencia importante de los cuadros 3 y 4 es que la presencia de la cointegración entre las variables implica la existencia de causalidad, en el sentido de Granger, al menos en una dirección.

Cuadro 3

México: prueba de rango de cointegración sin restricción (traza)
crecimiento del PIB y consumo energético agregado, 1996 a 2018

H_0 núm. de ecuaciones	Valor propio	Est. traza.	Valor crítico	Probabilidad
Ninguna*	0.70396	25.37468	18.39771	0.0045
No más de 1	0.050172	1.029493	3.841465	0.3103

* Rechazo al 0.05, ** [MacKinnon-Haug-Michelis \(1999\)](#) *p-values*.

Fuente: elaboración propia con datos de SENER e INEGI.

Cuadro 4

México: prueba de rango de cointegración sin restricción (máximo valor propio),
crecimiento del PIB y consumo energético agregado, 1996 a 2018

H_0 núm. de ecuaciones	Valor propio	Est. traza.	Valor crítico	Probabilidad
Ninguna*	0.70396	24.34519	17.14769	0.0038
No más de 1	0.050172	1.029493	3.841465	0.3103

* Rechazo al 0.05, ** [MacKinnon-Haug-Michelis \(1999\)](#) *p-values*.

Fuente: elaboración propia con datos de SENER e INEGI.

Lo anterior se evalúa en las siguientes ecuaciones del VAR:

$$Crecimto. PIB_t = \beta_1 Crecimto. PIB_{t-1} + \beta_2 Consumo_{t-1}, \quad (5)$$

$$Consumo_t = \alpha_1 Consumo_{t-1} + \alpha_2 Crecimto. PIB_{t-1}. \quad (6)$$

Verificamos la relación entre las dos variables mediante un estadístico Wald (χ^2), que prueba la hipótesis nula de no causalidad. Los resultados por consumo agregado y por sectores se muestran en el cuadro 5.

Los resultados del cuadro 5 muestran la existencia de causalidad unidireccional del consumo agregado de energía hacia el crecimiento del PIB. En cuanto a los sectores, el consumo industrial, comercial y residencial cusan crecimiento económico. Sin embargo, se demuestra que no hay causalidad entre el consumo de energía en los sectores de transporte y el sector público. Lo anterior es consistente con los hallazgos de [Hu et al. \(2015\)](#), e implica que, la autoridad en materia energética en México debe llevar a cabo una gestión eficaz del lado de la demanda energética para mejorar la eficiencia energética ([Hu y Lin, 2013](#)). Ahora bien, una de las razones de realizar el estudio a nivel sectorial es verificar si, aun cuando a nivel agregado no exista evidencia de causalidad, puede detectarse a nivel de sectores o subsectores. Al respecto, en el sector de transporte, este tipo de gasto se clasifica en cinco categorías; autotransporte, aéreo, marítimo, ferroviario y eléctrico. Los resultados se muestran en el cuadro 6.

En este sector destaca que existe causalidad unidireccional del autotransporte hacia el PIB, así como la causalidad unidireccional del crecimiento del PIB al sector ferroviario. Lo cual es consistente con evidencia empírica de tecnológicas en el sector energético de transporte que afectan de forma positiva el crecimiento económico ([Nasreen et al.,](#)

2020). Los resultados en los que no se muestra causalidad significativa en el sector transporte, pueden ser explicados porque usualmente en este sector se presenta una curva en forma de N, donde sólo para ciertos niveles de consumo hay un efecto en el crecimiento (Rehermann y Pablo-Romero, 2018).

Cuadro 5
México: prueba de causalidad, crecimiento del PIB y consumo energético, agregado y por sectores, 1996 a 2018

Hipótesis nula	χ^2	Probabilidad
Consumo agregado no causa el PIB	4.6996	0.0302 **
Industria no causa el PIB	4.8324	0.0279 **
Transporte no causa el PIB	1.5544	0.2125
Comercial no causa el PIB	4.1815	0.0409 **
Público no causa el PIB	1.4024	0.2363
Residencial no causa el PIB	5.9651	0.0146 **
PIB no causa consumo agregado	1.7897	0.1810
PIB no causa industria	2.3373	0.1263
PIB no causa transporte	0.0826	0.7738
PIB no causa comercial	0.3100	0.5777
PIB no causa público	0.3661	0.5451
PIB no causa residencial	0.0400	0.8415

* Denota rechazo de H_0 con una significancia del 1%, ** al 5% y *** al 1%.

Fuente: elaboración propia con datos de SENER e INEGI.

Por último, respecto del consumo energético por subsectores del sector industrial, los resultados se muestran en el cuadro 7. Dentro del rubro de consumo de energía es relevante la presencia de causalidad unidireccional de las ramas química, petroquímica, cerveza, vidrio y celulosa hacia el crecimiento del PIB. Mientas que sólo se presenta cau-

salidad unidireccional del crecimiento económico hacia el sector del azúcar.

Cuadro 6
México: prueba de causalidad, crecimiento del PIB y consumo energético, por subsectores de autotransporte, 1996 a 2018

Hipótesis nula	χ^2	Probabilidad
Autotransporte no causa el PIB	2.898219	0.0887 ***
Aéreo no causa el PIB	0.809918	0.3681
Marítimo no causa el PIB	0.030763	0.8608
Ferrovionario no causa el PIB	1.263487	0.2610
Eléctrico no causa el PIB	0.193084	0.6604
PIB no causa el autotransporte	1.864682	0.1721
PIB no causa aéreo	0.689544	0.4063
PIB no causa el marítimo	1.314923	0.2515
PIB no causa el ferrovionario	12.3547	0.0004 *
PIB no causa el eléctrico	0.08745	0.7674

* Denota rechazo de H_0 con una significancia del 1% y ** al 5%.

Fuente: elaboración propia con datos de SENER e INEGI.

Conclusiones

Este estudio aborda la relación causal entre el consumo energético y el crecimiento económico en México. Se ha realizado un estudio a nivel agregado y a nivel de consumo de los sectores residencial, comercial, público, transporte e industrial. Se aplica el enfoque de causalidad en el sentido de Granger, para lo cual, primero se han realizado pruebas de cointegración a nivel agregado. Los resultados arrojan que el consumo de energía y el crecimiento económico tienen una tendencia común de largo plazo, es decir, están cointegradas.

Cuadro 7
México: prueba de causalidad, crecimiento del PIB y consumo
energético, por subsectores industriales, 1996 a 2018

Hipótesis nula	χ^2	Probabilidad
Siderúrgica no causa el PIB	0.076559	0.782
Química no causa el PIB	3.981823	0.046 *
Azúcar no causa el PIB	2.133257	0.1441
Petroquímica no causa el PIB IB	10.50255	0.0012 **
Cemento no causa el PIB	0.019778	0.8882
Minería no causa el PIB	0.015151	0.902
Cerveza no causa el PIB	4.262366	0.039 *
Vidrio no causa el PIB	3.439489	0.0637 ***
Celulosa no causa el PIB	8.307725	0.0039 *
PIB no causa siderúrgica	0.750115	0.3864
PIB no causa química	0.009893	0.9208
PIB no causa azúcar	3.197871	0.0737 ***
PIB no causa petroquímica	0.015753	0.9001
PIB no causa cemento	1.036033	0.3087
PIB no causa minería	0.139444	0.7088
PIB no causa cerveza	0.071211	0.7896
PIB no causa vidrio	2.054415	0.1518
PIB no causa celulosa	0.02003	0.8875

* Denota rechazo de H_0 con una significancia del 1% y ** al 5%.

Fuente: elaboración propia con datos de SENER e INEGI.

Asimismo, a nivel agregado se muestra que el consumo energético causa, en sentido de Granger, al crecimiento económico. Respecto del análisis por sectores, los resultados son heterogéneos, sólo algunos presentan causalidad unidireccional del consumo al crecimiento, tal como el sector comercial, residencial e industrial. Si bien en el sector transporte, a nivel agregado no existe evidencia de causalidad en ninguna dirección, a nivel del subsector se detecta causalidad del consumo en el subsector de autotransporte al crecimiento. Por último, en el sector industrial, la causalidad va del consumo en las ramas de química, petroquímica, cerveza, vidrio y celulosa hacia el crecimiento económico.

Los resultados de este trabajo pueden ser útiles para los actores de políticas energéticas en México, por ejemplo, al detectar a qué sectores sería importante no imponer regulaciones o restricciones al consumo energético, o en qué sectores se pueden enfocar las inversiones. Asimismo, en los sectores en los que no se ha encontrado causalidad significativa, se contribuye en la detección de los sectores en los que se sugiere promover el uso eficiente del consumo energético. Se sugieren futuras investigaciones que aborden la magnitud del impacto de los sectores donde se encontró una causalidad hacia el crecimiento económico. Así como el estudio de los factores que propician las relaciones de causalidad encontradas.

Referencias

- Apergis, N. y Payne, J. E. (2011), The renewable energy consumption–growth nexus in Central America, *Applied Energy* 88(1): 343-347.

- Bowden, N. y Payne, J. E. (2010), Sectoral analysis of the causal relationship between renewable and non-renewable energy consumption and real output in the U.S. Energy Sources, Part B: Economics”, *Planning and Policy* 5: 400-408.
- Cheng, B. S. (1997), Energy consumption and economic growth in Brazil, Mexico and Venezuela: a time series analysis, *Applied Economics Letters* 4(11): 671-674.
- Destek, M. A. y Aslan, A. (2017), Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in emerging economies: Evidence from bootstrap panel causality, *Renewable Energy* 111: 757-763.
- Dickey, D. A. y Fuller, W. A. (1979), Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root, *Journal of the American Statistical Association* 74(366): 427-431.
- Dickey, D. A. y Fuller, W. A. (1981), Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root, *Econometrica* 49(4): 1057-1072.
- Dogan, E. (2014), Energy consumption and economic growth: Evidence from low-income countries in sub-saharan Africa, *International Journal of Energy Economics and Policy* 4(2): 154-162.
- Ekeocha, P. C.; Penzin, D. J. y Ogbuabor, J. E. (2020), Energy consumption and economic growth in Nigeria: A test of alternative specifications, *International Journal of Energy Economics and Policy* 10(3): 369-379.
- Ewing, B. T.; Sari, R. y Soytas, U. (2007), Disaggregate energy consumption and industrial output in the United States, *Energy Policy* 35: 1274-1281.
- Faisal, F.; Türsoy, T. y Reşatoğlu, N. G. (2017), Is there any causality between financial development, energy consumption and economic growth in pakistan? Evidence from ARDL bounds testing approach and vector error correction model, *International Journal of Ecological Economics and Statistics* 38(2): 33-48.
- Granger, C. W. J. (1988), Some recent developments in the concept of causality, *Journal of Econometrics*, 39: 99-211.
- Hu, Y.; Guo, D.; Wang, M.; Zhang, X. y Wang, S. (2015), The relationship between energy consumption and economic growth: Evidence from china’S industrial sectors, *Energies* 8(9).
- Hu, J. y Lin, C. (2013), Examining asymmetric behavior between energy consumption and economic growth in Taiwan, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy* 8(1).

- Johansen, S. (1991), Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in gaussian vector autoregressive models, *Econometrica* 59: 1551-1580.
- Mele, M. (2019), Renewable energy consumption: The effects on economic growth in Mexico, *International Journal of Energy Economics and Policy* 9(3): 269-273.
- Nasreen, S.; Mbarek, M. B. y Atiq-ur-Rehman, M. (2020), Long-run causal relationship between economic growth, transport energy consumption and environmental quality in asian countries: Evidence from heterogeneous panel methods, *Energy*, 192.
- Nguyen, H. M. y Ngoc, B. H. (2020), Energy consumption-economic growth nexus in Vietnam: An ARDL approach with a structural break, *Journal of Asian Finance, Economics and Business* 7(1): 101-110.
- Pao, H. T. y Fu, H. C. (2013), Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25: 381-392.
- Pastén, R.; Saens, R. y Contreras Marín, R. (2015), Does energy use cause economic growth in latin america?, *Applied Economics Letters* 22(17): 1399-1403.
- Payne, J. E. (2009), On the dynamics of energy consumption and output in the U.S., *Applied Energy* 86: 575-577.
- Phillips, P. C. y Perron, P. (1988), Testing for a unit root in time series regression, *Biometrika* 75(2): 335-346.
- Primayesa, E., y Putra, F. P. (2017), Energy consumption and economic growth in indonesia: Co-integration and causality analysis, *Advanced Science Letters* 23(8).
- Rehermann, F. y Pablo-Romero, M. (2018), Economic growth and transport energy consumption in the latin american and caribbean countries, *Energy Policy* 122.
- Rezitis, A. N. y Ahammad, S. M. (2015), The relationship between energy consumption and economic growth in south and southeast asian countries: A panel vector autoregression approach and causality analysis, *International Journal of Energy Economics and Policy* 5(3): 704-715.
- Saldivia, M.; Kristjanpoller, W., y Olson, J. E. (2020), Energy consumption and GDP revisited: A new panel data approach with wavelet decomposition, *Applied Energy* 272.
- Sari, R., y Soytaş, U. (2004), Disaggregate energy consumption, employment, and income in Turkey, *Energy Economics* 26: 335-344.

- Syzdykova, A.; Azretbergenova, G.; Massadikov, K.; Kalymbetova, A. y Sultanov, D. (2020), Analysis of the relationship between energy consumption and economic growth in the commonwealth of independent states, *International Journal of Energy Economics and Policy* 10(4).
- Tiba, S. y Omri, A. (2017), Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69: 1129-1146.
- Toda, H. y T. Yamamoto (1995), Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes, *Journal of Econometrics* 66(22).
- Tzeremes, P. (2018), Revisiting the energy consumption–economic growth causal relationships in tails, *Journal of Economic Studies* 45(5): 898-909.
- Yildirim, E.; Sukruoglu, D. y Aslan, A. (2014), Energy consumption and economic growth in the next 11 countries: The bootstrapped autoregressive metric causality approach, *Energy Economics* 44: 14-21.
- Wang, Q.; Su, M.; Li, R. y Ponce, P. (2019), The effects of energy prices, urbanization and economic growth on energy consumption per capita in 186 countries, *Journal of Cleaner Production*, 225.

CAPÍTULO 4

La formación bruta de capital fijo y el uso de energías renovables y no renovables en las emisiones de CO_2 en México: hipótesis de Kuznets

Héctor F. Salazar Núñez

José Antonio Lozano Díez

Francisco Venegas Martínez

Identificar las variables que influyen en las emisiones de dióxido de carbono, CO_2 , en México es de gran relevancia debido a que esta economía se encuentra en vías de desarrollo y, por ende, sus medios de producción deberían ser ajustados y orientados hacia un crecimiento sustentable. Además, es imperante contar con elementos suficientes, sustentados por la investigación, para diseñar políticas públicas en materia energética que modifiquen el patrón de consumo de energías renovables y no renovables en su población.

La hipótesis de la Curva Medioambiental de Kuznets (HCMAK) propone que existe una relación positiva entre la degradación del medio

ambiente (emisiones de CO_2) y el crecimiento económico, usualmente medido mediante la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto del (PIB). Es importante mencionar que este estudio, en lugar de utilizar la tasa de crecimiento del PIB, hace uso de la función de producción de [Rebelo \(1991\)](#), es decir, la tecnología $y = Ak$, donde el producto es una función lineal del capital. De esta manera, en lugar de producto se utilizará el capital, siendo la proxy del capital la FBCF. Las variables utilizadas frecuentemente en la literatura especializada que pueden degradar el medio ambiente son emisiones de CO_2 , niveles de consumo de energías (renovables y no renovables), densidad de la población, nivel de desigualdad, nivel de urbanización, grado de apertura comercial, desarrollo financiero, inversión extranjera directa, entre otras. Este estudio se concentra particularmente en dos variables que degradan el medio ambiente, las emisiones de CO_2 y el consumo de la energía. Esta última se divide entre renovables y no renovables, la primera se mide en toneladas de petróleo (NR) y la segunda en toneladas de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa, biogás, entre otras (RE).

Para indagar sobre las relaciones de corto y largo plazo entre la FBCF, el consumo de energías y las emisiones de CO_2 durante el periodo 1973–2018, se propone aplicar las metodologías de cointegración de [Engle y Granger \(1987\)](#) y de Mínimos Cuadrados Totalmente Modificados (MCOTF); este método de estimación fue propuesto por [Phillips y Hansen \(1990\)](#) en modelos estructurales. Para probar la estacionariedad tanto de las series en estudio como para probar que las series están cointegradas se utilizarán las pruebas de raíz unitaria de [Dickey-Fuller \(1981\)](#) y [Phillips y Perron \(1988\)](#). Además, se aplica la prueba de estacionariedad de [Kwiatkowski, Phillips, Schmidt y Shin \(KPSS\) \(1992\)](#). Finalmente, se aplica la prueba de causalidad de [Granger \(1969\)](#) pa-

ra eliminar regresiones espurias e identificar relaciones bidireccionales, unidireccionales y neutrales.

Existen diversos trabajos en la literatura especializada donde se trata de explicar la relación entre las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico, por ejemplo [Grossman y Krueger \(1991\)](#) analizan la relación entre la emisión de contaminantes y el crecimiento económico, al estudiar los beneficios del tratado de libre comercio entre Canadá, Estados Unidos y México, a través de un modelo de equilibrio general computable; encuentran que México se debería especializar en la agricultura y artículos de Exportación e Importación intensivos en trabajo, por el contrario Canadá y Estados Unidos, en artículos intensivos en capital para disminuir la contaminación por medio de la especialización. Shafik y [Bandyopadhyay \(1992\)](#) y [Panayotou \(1993\)](#), encuentran de forma independiente que la degradación en el medio ambiente es natural cuando un país está en proceso de industrialización, pero que disminuye conforme la economía converge a un país desarrollado, para su análisis utilizaron países desarrollados y en vías de desarrollo. De acuerdo con [Dinda \(2005\)](#) y [Stern \(2004\)](#), la HCMAK se basa en las ideas de [Kuznets \(1955\)](#). En este sentido, los trabajos de [Dinda \(2004\)](#) y [Shahbaz y Sinha \(2019\)](#) realizan resúmenes de los trabajos publicados, el primer caso abarca un periodo de 1991 a 2003 y en el segundo de 1992 a 2017.

Por otro lado, [Solarin et al. \(2017\)](#) encuentran que se cumple HCMAK para los países de la India y China de 1965 a 2013. Los autores utilizan las emisiones de CO₂ como variable endógena y como exógenas el PIB per cápita, el nivel de urbanización y el consumo de energía hidroeléctrica per cápita, a través de un modelo autorregresivo de rezados distribuidos cointegrado; encuentran que en el largo plazo, el ingreso y

el nivel de urbanización tienen un impacto positivo sobre las emisiones de CO₂ y negativo sobre el consumo de energía hidroeléctrica, además, que las variables en el largo plazo tienen una relación bidireccional con las emisiones de CO₂, utilizando la prueba de causalidad de Granger. [El-Aasar y Hanafy \(2018\)](#) investigan el cumplimiento de la HCMAK en Egipto de 1991 a 2012 mediante un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos cointegrado, encuentran que el consumo de energías renovables reduce las emisiones de efecto invernadero para este país.

Asimismo, [Amri \(2018\)](#) utiliza un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos y la metodología de cointegración de Engle-Granger. El autor emplea al CO₂ como variable *proxy* de las emisiones de efecto invernadero, además en lugar de usar PIB, emplean la productividad total de factores para probar la HCMAK en Túnez de 1975 a 2014. El autor rechaza la HCMAK. [Aslan et al. \(2018\)](#) examinan la validez de la HCMAK en Estado Unidos de 1966 a 2013 por medio de técnicas Bootstrap, encontrando que esta se cumple para diferentes periodos. [Nazir et al. \(2018\)](#) utilizan el modelo autorregresivo de rezagos distribuidos y la metodología de cointegración de Engle-Granger, utilizando como variables exógenas PIB per cápita, consumo de energía, apertura comercial, desarrollo financiero e inversión extranjera directa, en Pakistán de 1970 a 2016. Los autores encontraron que existe una relación bidireccional entre el consumo de energía y las emisiones de CO₂, y unidireccional con las otras variables. Concluyeron que se cumple la HCMAK. [Olale et al. \(2018\)](#) examinan la HCMAK en Canadá y sus provincias de 1990 al 2014. Para ello, los autores utilizan un modelo de datos agrupados y efectos fijos, mencionan que la veracidad de la hipótesis depende del modelo que se aplique, además usan las emisiones de efecto invernadero como variable independiente que incluye CO₂, metano, óxido nitroso

y gas fluorescente. Concluyen que existe suficiente evidencia empírica para Canadá, aunque su modelo sólo puede ser usado para pronósticos de corto plazo.

De la misma manera, [Dong et al. \(2018\)](#) realizan un análisis para el caso de China, incluyendo variables como energía nuclear, fósil y renovable, de 1993 a 2016. Para ello, utilizan la metodología de cointegración de Bayer y Hanck junto con el modelo autorregresivo con rezagos distribuidos. Concluyen que las energías renovables y nucleares juegan un papel importante en el corto y largo plazo en la mitigación de las emisiones de CO₂ y por ende, la HCMAK es validada empíricamente para este periodo. [Gill et al. \(2018\)](#) utilizan un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos y la metodología de cointegración de Engle-Grange, usan al CO₂ como variable proxy de las emisiones de efecto invernadero y el consumo de energías renovables para probar la HCMAK en Malasia de 1970 a 2011. Los autores encuentran que sólo en el largo plazo se cumple la HCMAK, aunque se debe tener en cuenta que el PIB per cápita no es la única variable que genera la degradación del medio ambiente en ese país. [Liu et al. \(2019\)](#) analizan el cumplimiento de la HCMAK para 25 provincias en China, de 1996 a 2015, utilizando un modelo de datos de panel cointegrado, y encontrando que la apertura comercial, la tecnología y las mejoras en los procesos industriales, disminuyen las emisiones de CO₂, además, validan empíricamente la HCMAK. Por el contrario, [Shahbaz et al. \(2019\)](#) no encuentran que se cumpla la HCMAK en el corto plazo usando un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos y la metodología de cointegración de Engle-Granger en Vietnam de 1972 hasta 2016. Por último, [Usman et al. \(2019\)](#) utilizan al modelo autorregresivo de rezagos distribuidos y la prueba de cointegración de Bayer-Hanck y causalidad de Granger aplicado a India de

1971 a 2014. Los autores utilizan como variables explicativas el PIB per cápita, consumo de energía y el grado de democracia, encontrando que la HCMAK es empíricamente válida para India

El principal objetivo de esta investigación es indagar sobre la existencia de la HCMAK para el caso de México de 1973 a 2018. Para ello se utilizan las emisiones de CO₂ per cápita como variable dependiente y FBCF per cápita, consumo de energías no renovables (consumo de barriles de petróleo per cápita) y consumo de energías renovables, las cuales incluyen solar, eólica, geotérmica, biomasa y biogás, teniendo en cuenta que la introducción de éstas se da en diferentes periodos tiempo en México, por ejemplo, para la energía solar y la eólica se cuenta con datos a partir de 1990.

En la segunda sección se da una breve introducción de la HCMAK, la metodología de cointegración, el modelo MCOTM, pruebas de raíces unitarias y de estacionariedad; en la tercera sección se realiza un análisis estadístico de las variables en estudio y del orden de integración, se estima el modelo econométrico por medio de MCOTM para el corto y largo plazo y se aplica la prueba de causalidad de Granger; finalmente, en la cuarta sección, se dan las conclusiones.

Metodología y datos

La HCMAK propone que existe una relación positiva entre la degradación del medio ambiente y el Producto interno bruto, donde la variable exógena puede estar en forma lineal y cuadrática,¹ aunque en la presen-

¹ Para un análisis más detallado sobre la hipótesis junto con sus implicaciones pueden consultarse las investigaciones de [Dinda \(2005\)](#) y [Stern \(2004\)](#).

te investigación se utilizará la FBCF como *proxy* del capital, retomado la función de producción propuesta por [Rebelo \(1991\)](#), donde el producto está en función del capital.² Las variables se dividieron entre el total de la población para representarlas en términos per cápita de aquí en adelante, a menos que se mencione otra cosa. La especificación econométrica está dada por:

$$c_t = ak_t^{\alpha_1} k_t^{2\alpha_2} er_t^{\alpha_3} ern_t^{\alpha_4}, \quad (1)$$

donde c_t representa las emisiones de dióxido de carbono en términos per cápita, k_t es capital per cápita en términos lineales y cuadráticos. El uso de las energías se divide en energías renovables (er_t) y no renovables (ern_r) en términos per cápita. Las variables c_t , er_t y ern_t están en toneladas de petróleo en uso, equivalentes a emisiones de dióxido de carbono, energías renovables y no renovables respectivamente. La base de datos fue obtenida del Banco Mundial y de la Compañía de Petróleo Británica BP con periodicidad anual. Tomando logaritmos en la ecuación (1) se tiene

$$\ln c_t = \ln a + \alpha_1 \ln k_t + \alpha_2 \ln k_t^2 + \alpha_3 \ln er_t + \alpha_4 \ln ern_t. \quad (2)$$

Las variables de la ecuación (2) representan lo mismo que la anterior ecuación, sólo que la información se transformó en logaritmos para estimar el modelo en términos lineales. La metodología de cointegración desarrollada por [Engle-Granger \(1987\)](#) se va a utilizar para estimar los parámetros, aunque el método de estimación de los parámetros de la ecuación (2) se realiza por medio de MCOTM propuesto por [Phillips y Hansen \(1990\)](#) para modelos estructurales.

² Para un análisis más detallado sobre la hipótesis junto con sus implicaciones pueden consultarse las investigaciones de [Dinda \(2005\)](#) y [Stern \(2004\)](#).

La metodología de cointegración consiste en estimar las relaciones de corto y largo plazo, probando que las series en el modelo sean estacionarias e integradas del mismo orden. [Phillips y Perron \(1988\)](#)³ propusieron una prueba de raíz unitaria de tipo no paramétrica, para controlar los efectos de la correlación serial y heteroscedasticidad en los residuos a través de la introducción de dos correcciones, la primera es incluir a la raíz del estimador de la varianza consistente con la heteroscedasticidad y autocorrelación (*heteroskedasticity and autocorrelation consistent*, HAC) que afecta a la prueba t de *Student* del parámetro asociado en la regresión; la segunda corrección fue la inclusión de la diferencia entre las varianzas estimadas, HAC (Ω) y varianza contemporánea Σ . En este caso, los valores críticos para contrastar la prueba son los mismos que utiliza la prueba Dickey-Fuller. En este sentido, [Hamilton \(1994\)](#) desarrolló la versión más utilizada de esta prueba:

$$Z_{t_{\hat{\beta}}} = \sqrt{\frac{\Sigma}{\Omega}} t_{\hat{\beta}} - \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega - \Sigma}{\sqrt{\Omega}} \right) \left(\frac{T \hat{\sigma}_{\hat{\beta}}}{\hat{\sigma}_{\hat{\varepsilon}_t}} \right), \quad (3)$$

donde Σ es la varianza contemporánea de la regresión auxiliar, Ω es la varianza obtenida por el método de Newey y West (1987) usando un *kernel* tipo Bartlett, $t_{\hat{\beta}}$ es el valor estadístico t del parámetro asociado, $\hat{\sigma}_{\hat{\beta}}$ es el error estándar asociado al parámetro estimado β , $\hat{\sigma}_{\hat{\varepsilon}_t}$ es el error estándar de la regresión y T es el tamaño de muestra. Esta prueba tiene hipótesis nula de raíz unitaria, de ahí que no sea invertible el polinomio característico y, por lo tanto, la serie no sea estacionaria.

³ Debe tenerse presente que existen diferentes versiones de esta prueba, por ejemplo [Hamilton \(1994\)](#), [Maddala y Kim \(1998\)](#), [Zivot y Wang \(2007\)](#).

Asimismo, la prueba de estacionariedad de Kwiatkowski, Phillips, Schmidt y Shin (KPSS) (1992) que utiliza un multiplicador de Lagrange y se basa en los residuos de la regresión, con hipótesis nula de estacionariedad y su ecuación es la siguiente:

$$LM = \frac{\sum_{i=1}^T \varepsilon_i^2}{T^2 \Omega}, \quad (4)$$

donde ε_t son los residuos acumulados, T es el número de datos y Ω es el estimador de la varianza de largo plazo que se calcula de la misma manera como se hizo en la ecuación (3). Los valores críticos de contraste están en el trabajo de KPSS; también se puede consultar una versión generalizada en MacNeill (1978).

Para el método de estimación de Phillips y Hansen (1990), primero se propone una representación triangular estándar de una regresión y se supone la existencia de al menos un vector de cointegración.

$$\begin{aligned} y_t &= X_t' \beta + \varepsilon_{1t} \\ X_t &= Z_t' \alpha + \mu_{2t} \\ \Delta \mu_{2t} &= \varepsilon_{2t} \end{aligned} \quad (5)$$

donde el vector y_t es la variable independiente, X_t es la matriz que contiene las variables exógenas, la constante y la tendencia según sea el caso (Z_t se explica de forma similar), β es el vector de parámetros asociados a la matriz X_t , α son los parámetros asociados a la matriz Z_t . El vector de innovaciones $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}')'$ es estacionario y ergódico con media cero y matriz de covarianzas de largo plazo $\Omega > 0$ de dos lados y la matriz de covarianzas de largo plazo Δ es de un lado.

Además, Phillips y Hansen (1990) suponen que la suma parcial con la que se construye ε_t satisface el principio de invariancia multiva-

riada propuesta por [Phillips y Durlauf \(1986\)](#). Para estimar el modelo de la ecuación (5) primero se define al estimador de MCOTM de la siguiente forma:

$$\hat{\beta} = \left(\sum_{t=1}^T x_t x_t' \right)^{-1} \left(\sum_{t=1}^T x_t y_t^* - T \hat{\Lambda}_{12}^{*'} \right), \quad (6)$$

donde x_t es la matriz que contiene las variables exógenas, y_t^* es la variable endógena corregida por medio de la sustracción de $\hat{\Omega}_{12} \hat{\Omega}_{22}^{-1} \hat{\varepsilon}_{2t}$, $\hat{\Omega}_{12}$ es la covarianza de largo plazo de dos lados entre las variables $\hat{\varepsilon}_{1t}$ y $\hat{\varepsilon}_{2t}$, $\hat{\Omega}_{22}$ es la varianza de largo plazo de dos lados de $\hat{\varepsilon}_{2t}$ y, finalmente, $\hat{\varepsilon}_{2t}$ es la primera diferencia de los residuos obtenidos de la ecuación (5). $\hat{\Delta}_{12}^*$ es el parámetro que corrige la estimación que se define como $\hat{\Delta}_{12} - \hat{\Omega}_{12} \hat{\Omega}_{22}^{-1} \hat{\Delta}_{22}$, aquí $\hat{\Delta}_{12}$ es la covarianza de largo plazo de un solo lado entre las variables $\hat{\varepsilon}_{1t}$ y $\hat{\varepsilon}_{2t}$, $\hat{\Delta}_{22}$ es la varianza de largo plazo de un solo lado de $\hat{\varepsilon}_{2t}$ y, por último, T es el tamaño de muestra. Para el desarrollo matemático se puede consultar [Phillips \(1991\)](#).

Por otro lado, en el modelo a estimar, la matriz de covarianzas de largo plazo Ω puede ser representada de la siguiente forma: $\Omega = \Sigma + \Lambda + \Lambda'$ y cumple con lo siguiente para una sección cruzada:

$$\Omega = \begin{pmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} \end{pmatrix} = \Sigma + \Delta + \Delta' \quad (7)$$

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} \\ \Delta_{21} & \Delta_{22} \end{pmatrix} = \Sigma + \Delta \quad (8)$$

$$\Lambda = \sum_{j=0}^{\infty} E(\varepsilon_t \varepsilon_{t-j}') = \begin{pmatrix} \Lambda_{11} & \Lambda_{12} \\ \Lambda_{21} & \Lambda_{22} \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\Sigma = E(\varepsilon_t \varepsilon_t') = \begin{pmatrix} \sum_{11} & \sum_{12} \\ \sum_{21} & \sum_{22} \end{pmatrix} \quad (10)$$

donde Σ representa la varianza al tiempo t y Λ es la suma de las autocovarianzas. Aunque existen métodos para calcular las matrices de covarianzas de largo plazo Ω y Λ , en esta investigación se utilizarán métodos del tipo no paramétricos⁴ tal como los propuestos por [Newey y West \(1987\)](#) y [Andrews \(1991\)](#), utilizando el Kernel de Bartlett.⁵

Por último, la prueba de cointegración de [Engle-Granger \(1987\)](#) consiste en probar que los residuos de la ecuación (2) son estacionarios. Esto se hace por medio de alguna de la prueba de raíz unitaria de Phillips y Perron (1988) o de estacionariedad KPSS (1992).

$$\Delta \hat{\varepsilon}_t = (\rho - 1) \hat{\varepsilon}_{t-1} + \sum_{j=1}^k \theta_j \Delta \hat{\varepsilon}_{t-j} + v_t, \quad (11)$$

donde Δ indica la primera diferencia, ρ es el parámetro asociado a los residuos rezagados, un periodo ε_{t-1} y θ_j son los parámetros asociados a la variable endógena rezagada.

Resultados empíricos y su discusión

Para la variable capital del modelo 2, se utiliza la variable proxy FBCF, la cual tiene base 2010. La FBCF y la población en este estudio fueron

⁴ En [Den-Haan y Levin \(1997\)](#) se pueden encontrar métodos paramétricos y en [Andrews y Monahan \(1992\)](#) y [Lee y Phillips \(1994\)](#) métodos híbridos.

⁵ Núcleo de Bartlett: $k(a) = \begin{cases} 1 - |a| & \text{si } a \leq 1, \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$

obtenidas del Banco Mundial con periodicidad anual para el periodo 1973-2018. La variable de emisiones de CO₂ per cápita, el consumo de energías no renovables (RE) per cápita y no renovables (NR) per cápita están en toneladas de petróleo equivalente a las emisiones y consumo de la variable de estudio respectivamente, las cuales fueron obtenidas de la base de datos de la Compañía de Petróleo Británico (BP, por su acrónimo en inglés) hasta el 2018.

Cuadro 1
Estadísticos básicos de las series económicas

	Media	Desv. est.	Sesgo	Curtosis	Jarque-Bera	ρ
CO ₂	3.3016	0.5546	-0.7223	2.8506	4.0426	0.1325
FBKF	1 798.6173	311.7755	-0.0029	1.9018	2.3115	0.3148
NR	0.8012	0.1094	-1.2361	3.7795	12.8791	0.0016
RE	0.0138	0.0090	0.6509	3.4533	3.6417	0.1619

Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial y Compañía de Petróleo Británico.

En el cuadro 1 se presentan los estadísticos básicos de las variables bajo estudio antes de aplicarles logaritmos, se puede observar que en promedio los mexicanos, en el periodo 1973-2018, han emitido 3.3 toneladas de dióxido de carbono a la atmosfera anualmente, esta cantidad ha variado por arriba y por abajo en media tonelada. Además, se tiene un sesgo negativo de -0.72, lo que indica que durante el periodo se han tenido más aumentos que disminuciones en las emisiones de CO₂. La prueba Jarque-Bera proporciona un estadístico de 4.4 y, por ende, se puede suponer que sigue una distribución normal. El capital per cápita en el periodo fue \$1,798 dólares anuales, que estuvo aumentando y disminuyendo en \$311 dólares anuales. La serie también tiene

un sesgo negativo, esto indica que sus valores han estado por encima de la media. En cuanto al consumo de energías en México se observa que el 98% de la energía que se consume es de origen no renovable para el periodo 1973-2018. Finalmente, el consumo de energías renovables se ha distribuido de forma normal a diferencia de las no renovables.

En el cuadro 2, se presentan los resultados de las pruebas de raíces unitarias (Dickey-Fuller aumentada (ADF por su acrónimo en inglés) y de Phillips-Perron (PP). En ambos casos, las variables en estudio en forma de nivel tienen una raíz unitaria; esto indica que las series no son estacionarias al 95% de confianza, aunque cuando se le aplica la primera diferencia en las variables se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria y por ende son estacionarias al 5% de significancia. Por otro lado, la prueba de estacionariedad KPSS indica lo mismo que las pruebas antes mencionadas, con excepción de la variable consumo de energías no renovables, la cual es estacionaria a nivel y deja de serlo cuando se aplica la primera diferencia, es decir, es altamente volátil, por lo tanto las variables en estudio son $I(1)$ y tienen el mismo orden de integración. Se propone estimar el siguiente modelo mediante MCOTM:

$$\begin{aligned} \ln c_t = & \ln \hat{a} + \hat{\alpha}_1 + \ln k_t + \hat{\alpha}_2 \ln k_t^2 + \hat{\alpha}_3 \ln er_t \\ & + \hat{\alpha}_4 \ln ern_t + \hat{\varepsilon}_t \end{aligned} \quad (12)$$

En el cuadro 3 se presentan los resultados de la estimación por el método MCOTM, el tamaño de la ventana usada en el *kernel* tipo Bartlett fue de 4 en ambos casos. En el modelo 1, se puede observar que el capital per cápita tiene una relación inversa con las emisiones de dióxido de carbono, lo cual indica que conforme aumenta el uso del capital disminuye el deterioro del medio ambiente, aunque en este caso

particular no se puede afirmar completamente, dado que el parámetro asociado a k^2 es positivo e incrementaría este deterioro. Asimismo, el parámetro asociado a la variable energías no renovables es estadísticamente insignificante, aunado a esto el modelo presenta autocorrelación de primer orden; para eliminar este último problema se convirtió en dinámico el modelo de la ecuación (9) y los resultados se encuentran en la columna del modelo 2.

Cuadro 2
Pruebas de raíz unitaria de las series económicas

Variable	ADF	PP	KPSS
ln CO ₂	1.3742	1.9129	2.0021
Δ ln CO ₂	-3.2443	-5.1195	0.8268
ln RE	-2.9618	-3.6459	1.9532
Δ ln RE	-4.1794	-7.7173	0.4405
ln NR	-1.6888	-2.5782	0.7508
Δ ln NR	-3.3515	-5.0351	1.3536
ln FBCF	-2.4953	-2.5173	1.0904
Δ ln FBCF	-5.2750	-6.5624	0.0308
ln FBCF ²	-1.6752	-1.7602	1.8663
Δ ln FBCF ²	-5.2833	-6.5635	0.0308

Nota: para la hipótesis nula de raíz unitaria, el tamaño de rezago fue elegido con el criterio de información de Akaike. Valores críticos para ADF y PP son 1% (-3.58), 5% (-2.86) y 10% (-2.57). Valores críticos KPSS: 1% (0.74), 5% (0.46) y 10% (0.35).

Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial y Compañía de Petróleo Británico.

Al introducir la variable endógena rezagada un periodo, se eliminó la autocorrelación y todos los parámetros asociados a las variables exógenas son estadísticamente significativos al 9% de confianza. El parámetro asociado al capital per cápita implica una relación in-

versa con la variable en estudio, por lo tanto si aumenta el capital en una unidad, las emisiones de CO₂ disminuirían en 0.54, de igual forma se interpretaría el parámetro asociado al uso de energías renovables, aunque, por otro lado, los parámetros asociados al uso de energías no renovables y el capital al cuadrado deterioran al medio ambiente, dado que su signo es positivo.

Cuadro 3
Estimación del modelo econométrico por medio del método FMOLS

Variable	Modelo 1	Modelo 2
A	-12.6718	-6.1431
	1.6764	1.3308
$\ln k_t$	-1.1987	-0.545
	0.2255	0.1617
$\ln k_t^2$	0.6833	0.3201
	0.0966	0.077
$\ln ern_t$	0.4975	0.2412
	0.0541	0.0401
$\ln er_t$	-0.0433	-0.0377
	0.0245	0.0118
$\ln c_{t-1}$		0.5424
		0.0747

Nota: los valores críticos son 1% (2.58), 5%(1.96) y 10% (1.64).

Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial y Compañía de Petróleo Británico.

Finalmente, el valor del parámetro asociado al CO₂ con un rezago es positivo y estadísticamente significativo, lo que indica que los niveles actuales de CO₂ están influenciados por su pasado, sin dejar de mencionar que el valor de este parámetro y el asociado al capital

per cápita son prácticamente iguales con signo contrario. Para probar que las series en estudio están cointegradas, se obtienen los residuos y se aplican las pruebas ADF, PP y KPSS, para indagar si son $I(0)$, de acuerdo con lo propuesto por [Engle y Granger \(1987\)](#).

Cuadro 4
Prueba de cointegración

Variable	ADF	PP	KPSS
ε_t	-2.8959	-2.9758	0.0392

Nota: para la hipótesis nula de raíz unitaria, el tamaño de rezago fue elegido con el criterio de información de Akaike. Valores críticos para ADF y PP son 1% (-3.58), 5% (-2.86) y 10% (-2.57). Valores críticos KPSS: 1% (0.74), 5% (0.46) y 10% (0.35).

Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial y Compañía de Petróleo Británico.

Los resultados del cuadro 4 indican que se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria con las pruebas ADF y PP al 5% de significancia y con la prueba KPSS se acepta la hipótesis nula de estacionariedad al 90% de confianza, por lo tanto las series económicas introducidas en el estudio son $I(1)$. Este resultado puede variar si se utilizan los residuos de la regresión sin utilizar MCOTM como método de estimación. Para la segunda parte del método de cointegración Engle-Granger se propone la siguiente ecuación, donde se introduce el mecanismo de corrección de errores:

$$\begin{aligned} \Delta \ln c_t = & \ln \hat{a} + \hat{\alpha}_1 \Delta \ln k_t + \hat{\alpha}_2 \Delta \ln k_t^2 + \hat{\alpha}_3 \Delta \ln et_t \\ & \hat{\alpha}_4 \Delta \ln ern_t + \hat{\alpha}_5 \Delta \ln c_{t-1} + \hat{\alpha}_5 MCE_{t-1} + \hat{u}_t, \end{aligned} \quad (13)$$

donde Δ representa, como antes, el operador de la primera diferencia en logaritmos de las variables de estudio, MCE_t son los residuos obtenidos del modelo 2 que aparecen en el cuadro 3. El método MCOTM y

su parámetro asociado representa la causalidad de largo plazo. Por su parte, los parámetros asociados a las variables explicativas del modelo representan la causalidad de corto plazo y u_t representa el término de error, el cual debiera tener media cero y sus componentes no están correlacionados.

Cuadro 5
Resultado de la estimación de corto plazo

	$\Delta \ln \text{FBCF}_t$	$\Delta \ln \text{FBCF}_t^2$	$\Delta \ln \text{NR}_t$	$\Delta \ln \text{RE}_t$	$\Delta \ln \text{CO}_2 \text{ } t-1$	$\Delta \ln \text{MCE}_{t-1}$	C
α_k	0.3617	-0.1517	0.5771	-0.0561	0.0735	0.149	0.0147
DE	1.5718	0.7922	0.101	0.0158	0.0734	0.0897	0.0135

Nota: los valores críticos son 1% (2.58), 5%(1.96) y 10% (1.64).

Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial y Compañía de Petróleo Británico.

Los resultados del cuadro 5 muestran que las emisiones de dióxido de carbono están explicadas en el corto plazo por dos variables al 95% de confianza, las energías renovables y no renovables, la primera mantiene una relación negativa y por lo tanto su uso intensivo disminuye las emisiones de CO_2 , en cambio en las no renovables el signo es positivo, lo que genera el efecto contrario que la variable anterior. El parámetro asociado al mecanismo de corrección de errores es estadísticamente significativo si se amplía el rango de confianza al 90%, lo que estaría asociado con el largo plazo, de ahí que los hábitos en el uso de energía y del capital impactan de forma negativa sobre el medio ambiente y, en el corto plazo, lo único que lo mejora es el uso de energías limpias.

Cuadro 6
Prueba de causalidad de Granger

	$\Delta \ln \text{CO}_2_t$	$\Delta \ln \text{CO}_2_{t-1}$
$\Delta \ln \text{CO}_2_t$		0.0 %
$\Delta \ln k_t$	55.7 %	0.0 %
$\Delta \ln k_t^2$	59.2 %	0.0 %
$\Delta \ln \text{NR}_t$	27.3 %	0.0 %
$\Delta \ln \text{RE}_t$	54.4 %	25.7 %
$\Delta \ln \text{CO}_2_{t-1}$	8.4 %	
$\Delta \ln \text{MCE}_{t-1}$	94.5 %	86.8 %

Nota: hipótesis nula: la variable x no causa en el sentido Granger a la variable y .

Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial y Compañía de Petróleo Británico.

En el cuadro 6 se introdujo el valor de probabilidad de la prueba de causalidad de [Granger \(1969\)](#) en donde se propone encontrar el mejor estimador de la variable endógena y evitar regresiones espurias, con la restricción de que la prueba sólo puede ser aplicada a series estacionarias con media cero, lo cual puede estar en función del tiempo. En este cuadro se observa que el cambio en las emisiones de CO_2 está en función en el corto plazo por sus valores pasados, aunque para esto se amplió el rango de confianza al 90% y el resto de variables no son estadísticamente significativas. En la segunda parte del cuadro 5 se presentan los resultados de las emisiones de dióxido de carbono de un periodo anterior, las cuales en el corto plazo están en función de lo que actualmente se utiliza de capital per cápita y de energías no renovables, es decir, la forma en cómo se utilizan hoy las energías no renovables. El capital per cápita impacta de forma directa las emisiones de CO_2 del siguiente año, en virtud de los valores de los parámetros

obtenidos en los cuadros 3 y 5. Por lo tanto y de acuerdo con los resultados presentados, en la actualidad se debe cambiar la intensidad en el uso de energías no renovables y del capital per cápita, a fin de mejorar el medio ambiente, por medio de una política pública energética que favorezca el uso de energías renovables.

Conclusiones

México es uno de los países que tradicionalmente ha utilizado energías no renovables como petróleo, gas y carbón. Sólo en los últimos años ha usado energías renovables, las cuales representan menos del 3%, entre las que destaca la energía eólica con alrededor del 2%, por eso el valor del parámetro asociado a esta variable en el cuadro 3 es marginal y con signo negativo. Se encontró también en el cuadro 2 que todas las variables son estacionarias en la primera diferencia de los logaritmos. Los resultados del modelo muestran que el capital per cápita sí explica los niveles de emisiones de CO₂ tanto en el corto como en el largo plazo, es decir, se cumple la HCMAK para México. Los residuos obtenidos de la estimación del largo plazo muestran que existe cointegración entre las variables, como se observa en el cuadro 5.

De acuerdo con los resultados de la prueba de causalidad de Granger, éstos muestran que sólo tienen una relación las emisiones de CO₂ con su pasado de tipo bidireccional; aunque en el cuadro 6 también se muestra que los niveles pasados del capital y consumo de energía no renovables en términos per cápita, influyen en las emisiones actuales de dióxido de carbono. Con los resultados obtenidos se puede recomendar una mayor inversión en energías renovables para disminuir los costos

de producción, aunque se debe tomar en cuenta que el proceso de industrialización de cualquier país genera altos niveles de contaminación, dado que el uso de energías no renovables es inevitable, por los bajos costos. Se propone ampliar esta investigación por medio de un análisis a nivel estatal y a través de un panel de datos cointegrados.

Referencias

- Amri, F. (2018), Carbon dioxide emissions, total factor productivity, ICT, trade, financial development, and energy consumption: testing environmental Kuznets curve hypothesis for Tunisia, *Environmental Science and Pollution Research* 25(33): 691-701.
- Andrews, D. W. (1991), Heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix estimation, *Econometrica* 59(3): 817-858.
- Andrews, D. W. y Monahan, J. C. (1992), An improved heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix estimator, *Econometrica* 60(4): 953-966.
- Aslan, A.; Destek M. A. y Okumus, I. (2018), Bootstrap rolling window estimation approach to analysis of the environment Kuznets curve hypothesis: evidence from the USA, *Environmental Science and Pollution Research* 25(3): 2402-2408.
- Den Haan, W. J. y Levin, A. T. (1997), A practitioner's guide to robust covariance matrix estimation, *Handbook of statistics* 15: 299-342.
- Dickey, D. A. y Fuller, W. A. (1979), Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root, *Journal of the American Statistical Association* 74(366a): 427-431.
- Dinda, S. (2004), Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey, *Ecological economics* 49(4): 431-455.
- Dinda, S. (2005), A theoretical basis for the environmental Kuznets curve, *Ecological Economics* 53(3): 403-413.
- Dong, K.; Sun R.; Jiang, H. y Zeng, X. (2018), CO₂ emissions, economic growth, and the environmental Kuznets curve in China: What roles can nuclear energy and renewable energy play? *Journal of Cleaner Production* 196(29): 51-63.

- El-Aasar, K. M. y Hanafy, S. A. (2018), Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Egypt: the role of renewable energy and trade in mitigating GHGs, *International Journal of Energy Economics and Policy* 8(3): 177-184.
- Engle, R. F. y W. Granger, C. (1987), Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing, *Econometrica* 55(2): 251-276.
- Gill, A. R.; Viswanathan, K. K. y Hassan, S. (2018), A test of environmental Kuznets curve (EKC) for carbon emission and potential of renewable energy to reduce green house gases (GHG) in Malaysia, *Environment, Development and Sustainability* 20(3): 1103-1114.
- Granger, C. W. (1969), Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods, *Econometrica* 37(3): 424-438.
- Grossman, G. M. y Krueger, A. B. (1991), Environmental impacts of a North American free trade agreement, núm. w3914, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Hamilton, J. D. (1994), *Time series analysis*, Princeton University Press, Estados Unidos.
- Hansen, B. E. y Phillips, P. C. (1990), Estimation and inference in models of cointegration: A simulation study, *Advances in econometrics* 8(1989): 225-248.
- Kwiatkowski, D.; Phillips, P. C.; Schmidt, P. y Shin, Y. (1992), Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics* 54(1-3): 159-178.
- Lee, C. C. y Phillips, P. C. (1994), An ARMA prewhitened long-run variance estimator, manuscrito, Yale University.
- Liu, J.; Qu, J. y Zhao, K. (2019), Is China's development conforms to the Environmental Kuznets Curve hypothesis and the pollution haven hypothesis? *Journal of Cleaner Production* 234(2): 787-796.
- MacNeill, I. B. (1978), Properties of sequences of partial sums of polynomial regression residuals with applications to tests for change of regression at unknown times, *Annals of Statistics* 6(2): 422-433.
- Nazir, M. I.; Nazir, M. R.; Hashmi, S. H. y Ali, Z. (2018), Environmental Kuznets Curve hypothesis for Pakistan: Empirical evidence form ARDL bound testing and causality approach, *International Journal of Green Energy* 15(14-15): 947-957.

- Newey, W. K. y West, K. D. (1987), A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix, *Econometrica* 55(3): 703-708.
- Newey, W. K. y West, K. D. (1994), Automatic lag selection in covariance matrix estimation, *The Review of Economic Studies* 61(4): 631-653.
- Olale, E.; Ochuodho, T. O.; Lantz, V. y El Armali, J. (2018), The environmental Kuznets curve model for greenhouse gas emissions in Canada, *Journal of Cleaner Production* 184: 859-868.
- Panayotou, T. (1993), Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development, núm. WEP 2-22/WP. 238, International Labour Organization, Suiza.
- Phillips, P. C. y Durlauf, S. N. (1986), Multiple time series regression with integrated processes, *The Review of Economic Studies* 53(4): 473-495.
- Phillips, P. C. y Perron, P. (1988), Testing for a unit root in time series regression, *Biometrika* 75(2): 335-346.
- Phillips, P. C. (1991), Optimal inference in cointegrated systems, *Econometrica* 59(2): 283-306.
- Rebelo, S. (1991), Long-run policy analysis and long-run growth, *Journal of Political Economy* 99(3): 500-521.
- Sala-i-Martin, X. (2000), *Apuntes de crecimiento económico*, Antoni Bosch Editor, Madrid, España.
- Shahbaz, M.; Haouas, I. y Van Hoang, T. H. (2019), Economic growth and environmental degradation in Vietnam: Is the environmental Kuznets curve a complete picture? *Emerging Markets Review* 38: 197-218.
- Shahbaz, M. y Sinha, A. (2019), Environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A literature survey, *Journal of Economic Studies* 46(1): 106-168.
- Shafik, N. y Bandyopadhyay, S. (1992), Economic growth and environmental quality: Time series and cross-country evidence, Policy Research Working Papers, núm. WPS 904, Banco Mundial, Washington, DC.
- Solarin, S. A.; Al-Mulali, U. y Ozturk, I. (2017), Validating the environmental Kuznets curve hypothesis in India and China: The role of hydroelectricity consumption, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80: 1578-1587.
- Stern, D. I. (2004), The environmental Kuznets curve, *Modelling in Ecological Eco-*

nomics 49(54): 49-54.

Usman, O.; Iorember, P. T. y Olanipekun, I. O. (2019), Revisiting the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis in India: the effects of energy consumption and democracy, *Environmental Science and Pollution Research* 26(13): 13390-13400.

CAPÍTULO 5

Efectos del petróleo sobre las finanzas públicas y el crecimiento económico en México: 1990-2019

Alejandro Fonseca Ramírez
Roberto J. Santillán Salgado

La utilización del petróleo como combustible para impulsar distintas modalidades de transporte y para generar la energía eléctrica y motriz consumida en los procesos productivos de una amplia variedad de industrias aumentó a lo largo del siglo XX, a medida que el cambio tecnológico y el desarrollo urbano crearon una demanda en crecimiento constante y que la oferta fue relativamente abundante. Al mismo tiempo, la oferta creció continuamente gracias a la alta productividad de pozos petroleros en la región de Medio Oriente (Arabia Saudita, Iran, Irak, Emiratos Árabes), y a las vastas reservas petroleras de Estados Unidos.

Después de más de 40 años de relativa estabilidad de los precios en el mercado mundial del petróleo, el 16 de octubre de 1973, la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) decidió congelar la producción y los envíos de petróleo hacia los países que apoyaron a Israel durante la Guerra del Yom Kippur, como represalia por lo que consideraron una acción parcial e injusta ([Hamilton, 2009](#)). Aquella decisión produjo un aumento inmediato y sin precedentes en el precio del petróleo. En consecuencia, se produjo una presión inflacionaria que provocó el alza de las tasas de interés y una desaceleración generalizada de las principales economías ([Hammes y Wills, 2005](#)). En un plazo breve después del embargo, el precio del petróleo subió desde niveles por debajo de los \$5 dólares el barril, antes de la Guerra, hasta \$35 dólares a mediados de 1981, un crecimiento de aproximadamente siete veces en un lapso de ocho años.

La perspectiva de grandes ganancias impulsó la exploración en búsqueda de nuevos yacimientos petroleros por todo el mundo y a la vuelta de diez años la producción de crudo comenzó a diversificarse a partir de los descubrimientos del Norte de África, el Mar del Norte, Alaska, el sureste en México, etcétera. Al mismo tiempo, los principales consumidores de petróleo tanto productores como importadores netos, comenzaron a imponer medidas de conservación energética, promovieron la utilización de tecnologías menos dispendiosas, desarrollaron fuentes alternativas para la generación eléctrica (eólica, nuclear, solar, entre otras) y contribuyeron a la oferta de manera importante. La oferta creciente se encontró con una demanda menos expansiva en el marco de la primera recesión con inflación (*stagflation*) registrada en la historia, lo cual contribuyó a que los precios del petróleo volvieran a caer por debajo de los \$10 dólares durante los años ochenta. Desde

entonces, el precio del petróleo ha seguido una trayectoria errática, con altibajos pronunciados provocados por acontecimientos socio-políticos de la más amplia diversidad, desde guerras provocadas como la invasión de Kuwait en 1990, o el ataque a las Torres Gemelas en 2001, o bien fenómenos financieros como la Gran Recesión producida por el colapso del sector inmobiliario y el mercado de hipotecas de baja calidad en Estados Unidos, y más recientemente, la crisis sanitaria provocada por la pandemia del virus Covid-19.

El canal de transmisión del impacto de los precios del petróleo sobre la macroeconomía de los países más desarrollados e importadores netos, opera principalmente a través de los costos de la energía para las empresas, ya que estos se transmiten a los precios de todos los bienes y servicios a través de la inflación de costos (*cost-push inflation*), y al inducir distorsiones en los precios relativos de la economía motivan una respuesta de la política monetaria (véase, por ejemplo, [Bernanke et al., 1997](#)). Por el contrario, en el caso de las economías emergentes de los países exportadores de petróleo, las fluctuaciones de los precios del petróleo afectan a la macroeconomía a través de diferentes canales. En la mayoría de los casos, las exportaciones de petróleo representan un componente importante de la renta nacional. Los ingresos provenientes de las exportaciones generalmente pagan impuestos y derechos y constituyen ingresos fiscales, cuya asignación a los diferentes sectores de la economía a través del gasto público tiene un impacto directo sobre el empleo y la derrama de ingreso personal disponible.

El gasto financiado con el excedente petrolero también tiene un impacto más importante que en los países desarrollados a través de la demanda de bienes y servicios de aquellas empresas productoras y exportadoras de insumos para la industria, dado el bajo nivel

de diversificación industrial de estos países. El gasto público también puede ser canalizado hacia la construcción de infraestructura, la mejora de los servicios sociales incluida la educación, los servicios de salud, etcétera, y representan un importante flujo de fondos para el resto de la economía a través de los efectos multiplicadores asociados. Incluso las empresas privadas obtienen importantes beneficios que al ser reinvertidos producen nuevos efectos multiplicadores, y generan poder adquisitivo adicional para diferentes grupos sociales. Por lo anterior, ante las peculiaridades que adquiere el comportamiento del precio del petróleo sobre la macroeconomía de los países emergentes exportadores, es necesario realizar una evaluación empírica de su impacto para soportar el análisis de políticas públicas y empresariales con las cuales enfrentar las consecuencias negativas y potenciar los beneficios. El presente trabajo se inscribe, precisamente, en esa línea de investigación.

En México, país en el cual se desarrolló una industria petrolera de importancia mundial durante los años setenta, el petróleo llegó a ocupar un lugar muy importante dentro de la actividad económica, tanto desde el punto de vista de la derrama de ingreso y efectos multiplicadores producidos por las actividades de exploración, explotación y refinación de petróleo, sobre el resto de la economía, como por el peso específico que las exportaciones de petróleo llegaron a ocupar con respecto al total de exportaciones del país. Destaca notablemente el peso específico que el ingreso petrolero llegó a tener para las finanzas públicas del país.

Como consecuencia de la enorme carga fiscal que pesa sobre sus resultados de operación y los efectos que dicha carga ha tenido durante muchos decenios, la empresa petrolera nacional ha carecido de los recursos necesarios para realizar las inversiones que su crecimiento

demanda. Su infraestructura ha caído en muchos casos en la obsolescencia, las reservas han disminuido sustantivamente, y su capacidad para satisfacer las necesidades de consumo interno ha sido rebasada por mucho. Recientemente, Pemex ha sufrido una baja en su calificación crediticia que puso a sus bonos en circulación al nivel de “bonos chatarra”, y con ello también pone en riesgo incluso la calificación crediticia de la deuda soberana del país. Los problemas de la empresa se complican aún más por su poderoso sindicato y un contrato colectivo muy costoso que mantiene una plantilla de personal excesiva y otorga beneficios laborales extraordinarios a sus trabajadores.

Como se mencionó anteriormente, durante muchos años el crecimiento de la actividad petrolera en el país generó importantes efectos multiplicadores para la economía de las regiones productoras y para las industrias que proveyeron a Pemex de maquinaria y equipos diversos. Sin embargo, es oportuno reconocer que la expansión de la industria petrolera también tuvo efectos contraproducentes al provocar altos niveles de contaminación en las regiones donde se descubrieron nuevos yacimientos petroleros (Chiapas, Tabasco, Quintana Roo), a la par que se detonó un proceso de crecimiento urbano desordenado, acompañado por una gran cantidad de problemas sociales entre los cuales, uno no menor fue la presión inflacionaria impulsada por la derrama de ingreso a los trabajadores y la poca flexibilidad de la oferta regional.

Sin embargo, a partir de que el yacimiento de Cantarell, uno de los 100 más grandes del planeta, cuya producción representó el 45% de la producción petrolera de México en su mejor momento, comenzó a declinar, no ha habido descubrimientos de importancia, y la plataforma de producción y las reservas petroleras han disminuido sostenidamente. Hoy, México se encuentra ante una difícil encrucijada debido al

rezago de la inversión en la industria, la peligrosa inestabilidad financiera de Pemex, y la caída de los precios del petróleo en los mercados internacionales a causa de la pandemia del Covid-19.

En el presente trabajo se plantea un análisis cuyos resultados revelan la relación existente entre el comportamiento del precio del petróleo, las finanzas públicas y el crecimiento económico en México, para el periodo de 1990 a 2019. En la segunda parte de este capítulo se presenta una revisión de los trabajos de investigación relacionados con el tema de los precios del petróleo y su incidencia sobre las finanzas públicas y sobre el crecimiento económico, y se particulariza en aquellos enfocados en el caso de México. La tercera parte del capítulo contiene una presentación de la problemática abordada en el contexto de la evolución reciente de la economía mexicana, la descripción de la base de datos utilizada para las estimaciones, y una presentación de los modelos VAR y VEC utilizados, así como las conclusiones al final.

Revisión de la literatura

La relación de la industria petrolera con las finanzas públicas y el crecimiento económico ha sido objeto de mucha investigación (Bruno y Sachs, 1982; Hamilton, 1983; Mork, 1989; Barnett y Ossowski, 2002; Davis *et al.*, 2003a, 2003b, 2003c; Jiménez-Rodríguez y Sánchez, 2005; Shabsigh e Ilahi, 2007; Husain *et al.*, 2008; Ibrahim, 2009; Villafuerte y López-Murphy, 2010; El Anshasy y Bradley, 2011; Ghalayini, 2011; Pieschacón, 2012; Sillah y Al-Sheikh, 2012; Gadea *et al.*, 2015; Alley, 2016; Rahma *et al.*, 2016; Koh, 2017; Behar y Fouejieu, 2018; Lyu, 2019; Mahmah y Kandil, 2019; Naini y Naderian, 2019; Van Eyden *et al.*, 2019; Akinsola *et al.*, 2020).

[Rahma *et al.* \(2016\)](#) estudiaron la relación entre peso y petróleo y las variables económicas agregadas para países emergentes en África y el medio oriente. Tomando a Sudan como ejemplo y algunos otros, el estudio aplicó vectores autorregresivos y respuestas de impulso para explorar el impacto de shocks en el precio del petróleo sobre las principales variables como presupuesto gubernamental, crecimiento económico y presupuesto del gobierno; los resultados sugieren que bajas en el precio del petróleo significativamente afectan el gasto corriente y el producto interno bruto, sin embargo, no causan en el sentido de Granger variables presupuestarias. Los resultados de la función de respuesta de impulso y la varianza sugieren que los shocks petroleros tienen efectos asimétricos en el presupuesto gubernamental. [Davis *et al.* \(2001\)](#) estudiaron el efecto del precio del petróleo en los fondos gubernamentales para los países emergentes productores de petróleo entre ellos Chile, México y Venezuela de 1965 a 1999 y mostraron una correlación negativa entre el gasto gubernamental y los cambios en el precio del petróleo.

[Shabsigh y Ilahi \(2007\)](#) estudiaron el efecto del ingreso petrolero para 15 países dependientes del petróleo y encontraron una correlación negativa entre los ingresos petroleros, el circulante monetario (M2), el índice de precios al consumidor, y los tipos de cambio. [Sillah y Al-Sheikh \(2012\)](#) mostraron que en todos los países del Medio Oriente un incremento en el peso el petróleo provocó un aumento en el consumo doméstico, resultando un efecto inducido por el incremento de los ingresos presupuestales y del volumen de las exportaciones. En su muestra, estos autores encontraron para todos los países una relación bidireccional entre el precio del petróleo y el producto interno bruto per cápita. Adicionalmente, con base en los resultados de un modelo VECM

encontraron que hay una causalidad unidireccional entre el consumo per cápita de petróleo y el producto interno bruto. [Masan \(2016\)](#) utiliza un modelo VAR que incluye como variables el ingreso petrolero, el crecimiento del producto interno bruto y el gasto gubernamental para estudiar el caso de Omán. Reporta un efecto inmediato y significativo de la primera de esas variables sobre las dos últimas. También comenta que el gasto del gobierno tiene un efecto positivo significativo sobre el producto interno bruto, y que el precio del petróleo causa el gasto del gobierno en el sentido de Granger. La evidencia anterior contribuye a reforzar la idea de que la economía es vulnerable a los cambios en el precio del petróleo. [Allegret *et al.* \(2014\)](#) estudian como afecta a la balanza de cuenta corriente el incremento sostenido de los precios del petróleo en una muestra de 27 economías exportadoras de petróleo durante 1980 a 2010. Investigan la manera como las opciones de política fiscal de los países exportadores de petróleo difieren de las del resto del mundo. Utilizan modelos de regresión en panel con efectos fijos, aleatorios y el método generalizado de momentos para sus estimaciones, y reportan como hallazgos principales que, mientras que la cuenta corriente de los países de la muestra se vio positivamente afectada por el alza de los precios del petróleo, este efecto no es lineal y depende en gran medida del grado de desarrollo financiero de las economías en cuestión. Este es un hallazgo de mucho interés porque sugiere que las variaciones de precio del petróleo ejercen un mayor impacto sobre la posición de la cuenta corriente de los países menos desarrollados, y que esa influencia disminuye en la medida que existe una mayor profundidad financiera. Asimismo, encuentran que la política fiscal tiene un efecto mucho mayor sobre la cuenta corriente de los países exportadores de petróleo de lo observado en la cuenta corriente de otros países.

[Arezki y Hasanov \(2013\)](#) abordan la misma temática para una muestra más amplia de países los cuales, nuevamente, en todos los casos, son exportadores de petróleo y, en su mayoría, son países emergentes.¹ El periodo analizado comprende los años posteriores a la Gran Recesión de los años 2008 a 2009. Su análisis se aborda desde la perspectiva del impacto del enorme superávit de balanza en cuenta corriente registrado como consecuencia del alza histórica del precio del petróleo durante esos años. Los autores argumentan que la moderación fiscal de los países contenidos en la muestra apoyó su superávit en cuenta corriente y contribuyó a corregir los desequilibrios mundiales. A su vez, el gasto fiscal absorbió una proporción significativa de las exportaciones mundiales y, con ello, contribuyó a facilitar el ajuste de los desequilibrios comerciales mundiales. Al destinar montos importantes de petrodólares acumulados en los fondos de riqueza soberana (*Sovereign Wealth Funds*) hacia inversiones en distintos países e instrumentos financieros, también se convirtió en un factor correctivo de los desequilibrios mundiales. El estudio concluye argumentando que cuando los precios del petróleo suben, las políticas fiscales de los países exportadores de petróleo influyen en la consecución del equilibrio comercial y financiero a nivel global.

En un trabajo realizado con una muestra en la cual se incluyen cinco países exportadores netos de petróleo de América Latina (Argentina, Colombia, Ecuador, México y Venezuela), [Santillán et al. \(2017\)](#) reportan resultados obtenidos a partir de modelos de regresión en panel

¹ La muestra utilizada en el trabajo de [Arezki y Hasanov \(2013\)](#) incluye a los siguientes países: Algeria, Angola, Azerbaijan, Bahrain, Congo, Ecuador, Guinea Equatorial, Gabón, Irán, Kazakhstán, Kuwait, Libya, Nigeria, Norway, Omán, Qatar, Russia, Arabia Saudita, Siria, Turkmenistán, Emiratos Árabes Unidos, Venezuela y Yemen.

con efectos fijos, aleatorios y con el método generalizado de momentos, los cuales sugieren que las variaciones en el precio del petróleo están positivamente relacionadas con el crecimiento de la economía de los países de la muestra. Estos autores argumentan que la importancia relativa de la industria petrolera para la economía representa una exposición constante de sus niveles de crecimiento económico (medido como la tasa de crecimiento del PIB) a los altibajos de los precios del petróleo en el mercado mundial. Precisamente en el caso de América Latina se ha observado claramente la relación antes descrita entre el precio del petróleo y el gasto público, debido a que en el caso de varios países exportadores netos la entidad encargada de exportar el petróleo es, o bien una empresa de propiedad completamente estatal, o bien una empresa que cuenta con una participación importante del Estado. Por supuesto, en todos los casos se observa una enorme dependencia de los ingresos públicos por concepto de impuestos y aprovechamientos con respecto al precio del petróleo.

En el caso de México, la literatura sobre el tema de la influencia que tienen los precios del petróleo sobre la economía y las finanzas públicas es realmente escasa, comparada con otras regiones geográficas, aunque existen algunos trabajos representativos ([Colmenares, 2009](#); [Romo-Rico, 2010](#); [Michel-Gutiérrez, 2013](#); [Romo-Rico, 2015](#); [Saucedo y Rodríguez, 2019](#)). En esta sección se presenta una revisión de algunos de esos trabajos, como marco de referencia conceptual sobre los objetivos de este trabajo, y como comparación para los hallazgos reportados en la sección dedicada al análisis empírico.

Para comprender mejor la importancia de la industria petrolera en México durante los últimos tres decenios del siglo pasado y la primera mitad del primer decenio del siglo actual, es recomendable la

lectura del trabajo de [Colmenares \(2009\)](#), quien presenta un estudio cronológico desde los años anteriores al descubrimiento de los importantes yacimientos petroleros del estado de Chiapas, de finales del sexenio 1970-1976, hasta el final del sexenio 2000-2006. En su análisis aborda el impacto de los ingresos públicos sobre la economía mexicana, tanto a nivel de la cuenta corriente, para la cual las exportaciones petroleras llegaron a representar más del 80% durante el sexenio 1976-1982, como desde la perspectiva de las finanzas públicas. En este segundo rubro, el autor menciona la aguda dependencia que llegaron a tener las finanzas públicas con relación a la renta petrolera. Ante el colapso del precio del petróleo en el año 1982, consecuencia del crecimiento de la oferta internacional y de la reducción de la demanda por las medidas conservacionistas de los principales países importadores, la economía mexicana también sufrió una drástica contracción. “Después de haber mantenido un crecimiento promedio superior a 9% entre 1980 y 1981, la economía registró un decrecimiento de 0.6% en 1982 y de 4.2% en 1983” ([Colmenares, 2009](#)). Un desplome subsecuente del precio del crudo mexicano de exportación en 1986 tuvo como consecuencia en ese año la reducción de los impuestos petroleros respecto a los ingresos ordinarios totales del gobierno federal desde 82% en 1982 a solamente 37%. En 1998 se registró una caída adicional del precio promedio del crudo mexicano de exportación, con lo cual los ingresos de exportación como proporción de las ventas totales pasaron a ser la tercera parte de lo que representaron 16 años atrás. “La impresionante caída que registraban los precios internacionales del petróleo en 1998 colocó al precio real apenas 8% por encima de los precios de 1973 y, prácticamente, al mismo nivel de 1948, es decir, de medio siglo atrás” ([Colmenares, 2009](#)).

Lamentablemente, la bonanza petrolera nunca se utilizó para diseñar un plan de desarrollo transexenal, sino que cada gobierno en turno destinó los recursos de la renta petrolera según sus intereses particulares. Según [Colmenares \(2009\)](#), Guillermo Ortiz Martínez (ex secretario de hacienda y gobernador del Banco de México) refirió que durante el sexenio 2000-2006, el ingreso extraordinario que obtuvo el país por la exportación de crudo, de alrededor de 180 mil millones de pesos al año en promedio, “se había destinado a financiar el gasto de la administración y no a mejorar la competitividad nacional”. De este estudio se puede deducir la oportunidad dorada que tuvo el país para detonar su crecimiento económico, el fortalecimiento de las finanzas nacionales, así como crear las condiciones para un desarrollo post-petrolero, que fue desperdiciado por los intereses políticos del momento. Además, destaca la importancia de la renta petrolera para las finanzas públicas y como impulsora de la industrialización del país.

[Romo-Rico \(2010\)](#) analiza la evolución de la industria petrolera mexicana durante los últimos decenios del siglo XX y el primero del siglo actual desde la perspectiva de su estrecha articulación con las finanzas públicas. Destaca la creciente importancia de los ingresos petroleros como fuente de captación de ingresos públicos y también el papel de la derrama económica de Pemex sobre distintas regiones del país. Este autor presta especial atención y presenta un gran detalle de los esquemas de financiamiento de la inversión en la industria petrolera, a través de los Proyecto de Inversión de Infraestructura Productiva con Registro Diferido en el Gasto Público (PIDIREGAS). Comenta que hasta el comienzo del nuevo siglo el Estado mexicano ha aplicado un régimen fiscal muy gravoso a Pemex, lo que en términos financieros llegó a representar más del 100% de sus utilidades antes de impuestos, situa-

ción que tuvo consecuencias negativas en términos de su crecimiento y modernización, y cabría agregar que a veinte años de distancia hace evidente la explicación de la descapitalización y excesivo endeudamiento que le aquejan. Este autor resume los aspectos más importantes de las dificultades enfrentadas por Pemex ante la constante confiscación fiscal de su flujo de efectivo:

Se ha centrado en actividades de mayor rentabilidad en el corto plazo desde inicios de los ochenta, en particular en actividades de explotación de hidrocarburos. Resalta la concentración que se ha mantenido desde finales de los años setenta, en Cantarell y en el área del Mesozoico, Chiapas, Tabasco, y desde mediados de los años noventa en el área de Burgos, en la explotación de gas natural. Aunque la producción de petróleo crudo se elevó de 2 millones 254 mil a 2 millones 792 mil barriles por día entre 1982 y 2008 (con un máximo en el año 2004), se registró una elevada dependencia de Cantarell que promedió más de la mitad de la producción total y llegó a constituir hasta un 62.3% de la producción total nacional durante 2004 ([Romo-Rico, 2010](#)).

Asimismo, comenta que las actividades de exploración para detectar nuevos yacimientos quedaron de lado entre las prioridades de Pemex, con la consecuente baja en la tasa de reposición de las reservas de hidrocarburos. Desde inicios de la década de los noventa Pemex no fue capaz de reponer con nuevas reservas descubiertas el petróleo extraído año con año, como es la práctica de las grandes empresas pe-

troleras multinacionales, y en algunos años quedó muy por debajo de dicho objetivo:

El nivel de reservas totales de hidrocarburos de 72 mil millones de barriles de petróleo equivalente en 1982, pasó a 44 mil 500 millones de barriles de petróleo equivalente en 2008, de estas últimas, una tercera parte fueron clasificadas como probadas. La tasa de restitución de las reservas en el año 2008 fue de 71.8%, mientras que, en algunos años, como 2001 alcanzó un nivel de sólo 14.4% ([Romo-Rico, 2010](#)).

Concluye que mientras no tenga lugar un cambio en la estructura fiscal prevaleciente en México, y se abandone el principio de mantener el equilibrio fiscal, Pemex difícilmente podrá ejecutar un “programa financiero integral de largo plazo”, por lo que resulta recomendable ampliar el déficit público con el propósito de financiar el programa de expansión de la empresa. A la luz de los retos tecnológicos que enfrenta en el presente Pemex para explorar y explotar pozos en aguas profundas y ante la baja probabilidad de que los pueda resolver por sí misma, la reforma energética del 2013 tiene más sentido que endeudar al país. Ya en el año 2020 los problemas financieros de Pemex la han llevado a una situación compleja y de muy poca viabilidad (de acuerdo con las grandes empresas calificadoras como *Fitch* y *Standard and Poor's*) y es posible argumentar que la propuesta del autor comentado no sólo habría fracturado el endeble equilibrio fiscal que ha permitido la estabilidad macroeconómica de los últimos diez años y aumentado significativamente la deuda pública del país, sino que habría vuelto a dar a la industria petrolera el papel de pilar de la economía mexicana, un modelo ya probado que si bien generó crecimiento durante los años

del auge de la industria (la segunda mitad de los años setenta), también provocó una dependencia muy peligrosa debido a los riesgos que la volatilidad de los ingresos petroleros significa, y favoreció el diferimiento de una modernización y diversificación del aparato productivo nacional inducida mediante una política industrial racional y visionaria.

[Michel-Gutiérrez \(2013\)](#) afirma que, en México, existe una dependencia histórica de las finanzas públicas con respecto al petróleo. Para fundamentar su afirmación hace referencia al porcentaje correspondiente a los ingresos petroleros respecto de los ingresos totales del sector público. Hacia 2012, los ingresos petroleros representaron 33.8% de los ingresos del sector público. Además, comenta sobre la perspectiva de la disminución de la participación de los ingresos petroleros debido a la disminución de los derechos a los hidrocarburos. Esta autora sugiere que la proporción que representan los ingresos petroleros con relación al total de ingresos del sector público es una función de las decisiones que se toman sobre la plataforma de producción, “y que deben dar prioridad a la seguridad energética del país, de acuerdo con lo estipulado en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (art. 33 Fracc. XVII)”.

Por tanto, la demanda doméstica esperada determina la cantidad de petróleo que debe producirse cada año; pero la decisión también es influida por el precio de las exportaciones de crudo, por lo que el precio internacional del petróleo también juega un papel importante. Cabe añadir que, ante la exagerada sustracción de los recursos generados por Pemex para apoyar el gasto fiscal del gobierno en turno, en función de sus prioridades políticas, la empresa paraestatal no ha contado con los recursos necesarios para ampliar la exploración de nuevos yacimientos, ni para modernizar sus instalaciones al transformar

el crudo en gasolinas y otros derivados, de modo que sus finanzas se encuentran en un estado lamentable. Tanto es el deterioro de Pemex que, a pesar de las disminuidas e importantes reservas petroleras, las principales calificadoras del mundo le quitaron la calificación de grado de inversión en abril 2020.

[Romo-Rico \(2015\)](#) describe los aspectos técnicos de la declinación del campo petrolero más importante que ha explotado Pemex en toda su historia, Cantarell, hacia el año 2004. El macro-yacimiento produjo grandes volúmenes de petróleo y representó una fuente de ingresos muy significativos en divisas. El autor concluye que la estrategia de explotación de Cantarell no fue óptima, dado que respondió a criterios no técnicos, que incidieron en su declinación y en la serie de retos que está enfrentando, mismos que a su vez, podrían atenuarse con el empleo de tecnología.

[Saucedo y Rodríguez \(2019\)](#) analizan el impacto que corresponde a las fluctuaciones del precio del petróleo sobre la actividad económica sectorial de México. Analizan el periodo comprendido entre enero de 2002 y enero de 2018, con observaciones mensuales y con la ayuda de un modelo de Vector Auto Regresivo Estructural (SVAR) para cada sector económico, que incluye los precios del petróleo, el índice de actividad industrial por sector, los precios al consumidor, la tasa de interés nominal, la actividad económica y el tipo de cambio real como variables de control. Con base en el modelo SVAR, los autores desarrollan un análisis de funciones impulso-respuesta para los sectores y sub-sectores industriales del país. Este es, sin duda, un trabajo pionero al analizar el impacto de los precios del petróleo a nivel de las diferentes ramas de actividad económica en México. Los principales hallazgos reportados incluyen que las fluctuaciones de los precios del petróleo

tienen un efecto positivo sobre la industria manufacturera y que las variaciones observadas en el gasto público afectan de manera directa las actividades del sector minero. Finalmente, concluyen que aquellos sectores caracterizados por una mayor vinculación al sector externo son precisamente los más afectados por los shocks en los precios del petróleo.

De la revisión de trabajos anterior queda claramente establecida la importancia económica de la relación entre el precio del petróleo, las finanzas públicas de los países exportadores y su crecimiento económico, así como también el hecho evidente de la escasa literatura que existe sobre el tema en el caso particular de México. Este trabajo busca contribuir a un mejor conocimiento de cómo se manifiesta dicha relación desde un punto de vista econométrico, para lo cual se presenta el análisis correspondiente.

Análisis empírico

La participación de los ingresos petroleros con relación a los ingresos totales del gobierno federal pasó de niveles superiores al 30% durante los primeros años del siglo XXI, a poco más de 19% en 2018, apenas 14.7% en 2019, y solamente 8.43% hacia el mes de abril de 2020, como consecuencia de la estruendosa caída de los precios del petróleo en el ámbito de la pandemia del Covid-19 (SHCP, Informe sobre la situación económica, las finanzas públicas y la deuda pública, varios números). La notable disminución secular de los ingresos provenientes del petróleo en los ingresos totales del gobierno federal es explicada por al menos dos causas principales:

1. La disminución de la capacidad de extracción como consecuencia del rezago en las inversiones necesarias para conservar un nivel constante o creciente de reservas, y el agotamiento de los pozos petroleros más productivos (como fue el caso de Cantarell, en 2004).
2. El franco deterioro de la capacidad financiera de Pemex, consecuencia de los muchos años de desempeño puntal de las finanzas públicas del país, pero que careció de los recursos para mantener y modernizar su capacidad de extracción y procesamiento.

El primer problema se agudizó en la medida que la explotación de los nuevos yacimientos detectados se dificulta por localizarse en aguas profundas en el Golfo de México, y la debilidad de las finanzas de la empresa le impidieron adquirir o desarrollar las tecnologías necesarias para dicho propósito. La reforma energética aprobada por el Congreso en 2013 tuvo como objetivo central terminar el monopolio paraestatal de la industria con el propósito de abrir la puerta a la inversión privada, con la capacidad para realizar las inversiones requeridas en exploración y explotación. Adicionalmente, las empresas nacionales e internacionales interesadas contarían con la tecnología de punta requerida para la explotación de los pozos profundos y complementaría a la inversión para detonar una nueva expansión de la industria petrolera en México. Sin embargo, desde el comienzo del nuevo sexenio (2018-2024), la adopción de una política monotemática de combate a la corrupción y al crimen organizado (en ningún caso con resultados satisfactorios o siquiera cercanos a satisfactorios), dio marcha atrás a la única opción económicamente viable para rescatar a la industria petrolera.

En cuanto al segundo problema, la abundancia relativa de recursos financieros provenientes de la plataforma exportadora de petróleo, con sus correspondientes altibajos debidos a la volatilidad del precio del petróleo, se utilizó principalmente para el gasto corriente del gobierno federal y sólo de forma marginal para realizar inversiones en la infraestructura productiva y en la exploración de nuevos yacimientos que permitieran mantener el nivel de reservas y soportar una mayor capacidad de extracción. El rápido agotamiento de los pozos más productivos, por algunos autores atribuido a una explotación incorrecta de los mismos ([Romo, 2015](#)) y la consecuente disminución de la capacidad de producción y exportación de petróleo, adicionalmente al lastre crónico de contratos colectivos excesivamente gravosos y de una corrupción rampante, comenzaron a gravitar de manera patente y con peso creciente sobre las finanzas de Pemex.

A pesar de que durante el periodo que abarcó del 2013 al 2018, comenzaron a elaborarse diversos proyectos del sector privado (nacional y extranjero) que habrían tenido un impacto favorable sobre la capacidad productora de crudo y refinados en el país ([Romo, 2016](#)), en los hechos la inversión no llegó a fluir en los montos anticipados, se suspendieron las subastas para la exploración de áreas potencialmente petroleras, y algunas decisiones contrarias a los inversionistas nacionales y extranjeros inhibieron de manera significativa el ritmo de inversión fija bruta en el país durante 2019 y la primera mitad del 2020, como puede apreciarse en el cuadro 1.

El franco deterioro financiero de Pemex se agudizó ante la caída de los precios del petróleo, como consecuencia de la cuarentena decretada en todo el mundo como respuesta al Covid-19, y dio lugar a que las principales agencias calificadoras internacionales (*Fitch y Moody's*

entre las más conocidas) bajaran la calificación crediticia de los bonos emitidos por la empresa en los mercados internacionales hasta la categoría de “bonos chatarra”. Ese acontecimiento también pone en riesgo la calificación crediticia de los bonos soberanos del país dada la elevada dependencia del ingreso fiscal, con respecto a los ingresos petroleros y la consabida garantía implícita del gobierno federal sobre la deuda de Pemex, todo ello en un escenario de contracción económica sin precedentes en la época post-revolucionaria de México.

Cuadro 1
Inversión fija bruta
(Cifras desestacionalizadas, variación porcentual)

	2019												2020		
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Total	0.6	-1.3	-5.1	-3.1	-7.2	-8.0	-9.6	-4.1	-7.5	-9.0	-3.4	-3.5	-8.6	-10.6	-11.1
Construcción	1.3	0.7	-3.1	-1.6	-8.6	-5.0	-6.7	-0.5	-7.8	-7.7	-1.8	-4.7	-7.5	-8.3	-6.9
Maq. y eq.	-0.5	-4.7	-6.4	-5.1	-5.5	-11.4	-13.0	-9.0	-8.3	-9.8	-3.9	-2.0	-10.3	-12.5	-18.0
Nacional	-4.2	-6.0	-8.3	1.1	-6.9	-5.4	-6.0	-6.7	-3.4	-7.0	1.6	-3.1	-5.8	-5.7	-15.6
Importado	2.3	-3.7	-6.8	-7.7	-4.7	-16.8	-17.0	-9.0	-12.7	-11.1	-6.9	-2.8	-13.1	-13.6	-19.6

Fuente: INEGI.

Existen numerosos canales a través de los cuales los precios del petróleo afectan a la actividad económica. Por ejemplo, en el caso de los países importadores, los efectos se relacionan con el hecho de que el petróleo y sus derivados son un insumo para la producción y los cambios en su precio pueden incrementar los costos de producción, lo que posiblemente desacelerará la actividad económica, resultará en una reducción de ingresos fiscales y tendrá consecuencias en la capacidad financiera del estado para invertir en diferentes áreas. Por el lado de la demanda, los aumentos en el precio del hidrocarburo afectan direc-

tamente al consumo, en función de la elasticidad de la demanda y de la percepción de qué tan permanentes serán los incrementos del precio. Además de lo anterior, las fluctuaciones en el precio del petróleo afectan los mercados del tipo de cambio, derivados financieros, mercados accionarios, la percepción de inflación y la tasa de interés en las economías locales.

En el presente trabajo se investiga la naturaleza de la relación entre el precio del petróleo, el crecimiento económico de México y las finanzas públicas. Puesto que los datos de finanzas públicas en México se reportan con periodicidad mensual desde 1990, se optó por utilizar series con periodicidad mensual para el análisis. El precio del petróleo mexicano se reporta de manera mensual oficialmente desde el año 2001, tomando en cuenta los ajustes de la composición y estandarización de sus precios. Pero dada su alta correlación (0.98-0.99) con el respecto del precio del petróleo tipo Brent, se optó por éste como *proxy* para el análisis de correlación y causalidad. Las fuentes de los datos son el Banco de México para el precio del petróleo y el índice de producción industrial y la Secretaría de Hacienda para los datos de finanzas públicas del país.

Este trabajo utiliza un modelo VAR (vector autorregresivo) para el análisis, pues además de no ser muy común en la literatura del estudio del precio del petróleo y finanzas públicas en México, permite capturar relaciones de largo plazo entre variables a medida que están cambiando. Estos generalizan el modelo de una sola variable univariado autorregresivo al permitir modelos con series multivariadas. Al igual que en un modelo autorregresivo, cada variable tiene una ecuación que modela sus cambios con el paso del tiempo. Esta incluye los valores rezagados de la propia variable y los valores rezagados de otras

variables en el modelo y un término de error (Sims, 1986). Una de sus principales ventajas es que no requiere de conocimiento teórico acerca de los factores que provocan cambios en una variable como lo requieren los modelos estructurales y las ecuaciones simultaneas. Sólo se necesita de un conocimiento previo de un conjunto de variables, las cuales se puede suponer tienen efectos entre sí en el tiempo, pero al igual que técnicas tradicionales de estimación mantiene el supuesto de normalidad en los errores ante comportamientos asintóticos. Su estimación es relativamente sencilla y flexible, y menos demandante en cuanto a información, todas las variables son dependientes y permiten la integración de datos nuevos.

El modelo VAR puede representarse como sigue:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \cdots + A_p y_{t-p} + C x_t + \epsilon_t, \quad (1)$$

donde $y_t = (y_{1t}, y_{2t}, \cdots, y_{Kt})'$ es un vector $k \times 1$ de variables endógenas. $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \cdots, x_{dt})'$ es un vector de variables exógenas. A_1, \cdots, A_p son matrices de $k \times k$ de coeficientes a ser estimados. C es una matriz $k \times d$ de coeficientes para las variables exógenas a ser estimados. $\epsilon_t = (\epsilon_{1t}, \epsilon_{2t}, \cdots, \epsilon_{Kt})'$ es un proceso de $k \times 1$ de innovación ruido blanco. Además, $E(\epsilon t) = 0$, $E(\epsilon t \epsilon t') = \sum \epsilon$, $E(\epsilon t \epsilon s') = 0$ para $t \neq s$.

Un defecto de los modelos VAR es que son muy sensibles a la selección del número de rezagos y a los métodos empleados para su selección, así como respecto a la estacionariedad de las series. Para determinar el número de rezagos más conveniente a utilizar, en cada modelo se utilizaron los criterios de Akaike, Schwartz y Hanan-Quinn. Los resultados de las pruebas correspondientes se presentan en el cuadro 2. De aquí elegimos doce como el rezago óptimo de acuerdo con Akaike por sus ventajas asintóticas.

Cuadro 2
Determinación del rezago óptimo para el modelo VAR

Lags	Loglik	p(LR)	Akaike	BayesIC	HannanQuinn
1	-8881.623		52.98585	53.213062*	53.07642
2	-8835.954	0.00000	52.80926	53.218235	52.97229*
3	-8818.833	0.00005	52.80926	53.393262	53.03801
4	-8793.031	0.00001	52.74423	53.516741	53.05218
5	-8769.964	0.00009	52.70216	53.656442	53.08257
6	-8752.205	0.00338	52.69170	53.827743	53.14456
7	-8734.907	0.00451	52.68397	54.001784	53.20929
8	-8726.106	0.34774	52.72682	54.226404	53.32460
9	-8712.389	0.03690	52.74041	54.421758	53.41064
10	-8691.134	0.00033	52.70913	54.572247	53.45182
11	-8670.008	0.00036	52.67862	54.723500	53.49377
12	-8596.660	0.00000	52.33726*	54.563912	53.22487
13	-8585.982	0.16520	52.36894	54.777355	53.32900
14	-8570.163	0.01114	52.37002	54.960198	53.40254
15	-8560.626	0.26487	52.40849	55.180437	53.51346
16	-8551.531	0.31287	52.44959	55.403304	53.62702
17	-8547.703	0.95847	52.52204	55.657526	53.77193
18	-8532.994	0.02126	52.52972	55.846975	53.85207
19	-8522.745	0.19868	52.56396	56.062979	53.95877
20	-8514.896	0.47420	52.61248	56.293263	54.07974
21	-8483.372	0.00000	52.52007	56.382626	54.05980
22	-8475.565	0.48010	52.56884	56.613157	54.18102
23	-8458.511	0.00526	52.56257	56.788654	54.24720
24	-8424.081	0.00000	52.45286	56.860715	54.20996

Nota: el asterisco indica el rezago óptimo para el modelo VAR.

Fuente: elaboración propia con Eviews.

En seguida se determinó si las series son estacionarias con la prueba Dickey-Fuller aumentada. El resultado de la prueba confirmó que las series en niveles no son estacionarias, por lo que se calculó su primera diferencia y se probó nuevamente la estacionariedad. El resultado confirma que la primera diferencia cumple satisfactoriamente con el requisito de estacionariedad, como puede observarse en el cuadro 3. Con la información anterior procedimos con la implementación del modelo VAR, como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 3
Pruebas de raíces unitarias

	Estadístico t	Probabilidad
Hipótesis nula:		
D(petroprecio) tiene raíz unitaria		
Estadístico Dickey-Fuller Aumentado	-12.93109	0.000
Valor crítico (nivel de 1%)	-3.9839	
Hipótesis nula:		
D(MexIndProd) tiene raíz unitaria		
Estadístico Dickey-Fuller Aumentado	-21.30248	0.000
Valor crítico (nivel de 1%)	-3.9839	
Hipótesis nula:		
D(lngPetGob) tiene raíz unitaria		
Estadístico Dickey-Fuller Aumentado	-12.54051	0.000
Valor crítico (nivel de 1%)	-3.9841	
Hipótesis nula:		
D(GastoCapPresup) tiene raíz unitaria		
Estadístico Dickey-Fuller Aumentado	-16.20021	0.000
Valor crítico (nivel de 1%)	-3.9841	

Fuente: elaboración propia en Eviews con datos de la SHCP y Banxico.

Cuadro 4

Modelo VAR para la primera diferencia del precio del petróleo, producción industrial, gasto de capital e ingresos petroleros del gobierno federal

Muestra: 1990M03-2019M12

	Petroprecio	MexIndPr	Gastocap	IngPet
Petroprecio(-1)	1.265634 [22.0002]***	0.003543 [0.27042]	-881.824 [-3.12219]***	521.9707 [5.30437]***
Petroprecio(-2)	-0.291759 [-3.08783]***	0.012183 [0.56617]	1421.52 [3.06437]***	-86.11994 [-0.53285]
Petroprecio(-3)	-0.053216 [-0.55244]	-0.002057 [-0.09378]	-918.989 [-1.94316]***	98.51448 [0.59787]
Petroprecio(-10)	0.128871 [1.34562]	0.055062 [2.52458]***	-128.4329 [-0.27315]	-603.4488 [-3.68364]***
Petroprecio(-12)	-0.128553 [-1.93987]**	0.024131 [1.59895]	616.4644 [1.89477]	-121.2251 [-1.06943]
MexIndPr(-1)	0.203465 [0.80904]	0.831333 [14.5151]***	269.7645 [0.21848]	759.6819 [1.76595]
MexIndPr(-4)	-0.1627 [-0.49676]	0.198256 [2.65797]***	2238.319 [1.39199]	-239.8652 [-0.42814]
MexIndPr(-11)	-0.137801 [-0.42437]	0.161424 [2.18291]***	1884.362 [1.18201]	-290.2411 [-0.52255]
Gastocap(-11)	-0.00000 [-1.31794]	0.00000 [0.40013]	-0.007619 [-0.16225]	-0.042116 [-2.57427]***
Gastocap(-12)	-0.00000 [-1.55484]	0.00000 [1.56303]	0.524333 [11.0435]***	-0.045585 [-2.75569]
IngPet(-1)	0.00000 [1.22299]	0.00000 [0.05673]	-0.220981 [-1.32196]	0.298782 [5.13013]***
IngPet(-3)	0.00000 [0.79567]	0.00000 [0.97477]	-0.445078 [-2.62780]***	0.088194 [1.49453]

Cuadro 4
Continuación

	Petroprecio	MexIndPr	Gastocap	IngPet
IngPet(-5)	-0.000127 [-3.61446]***	-0.00000 [-0.22214]	0.05927 [0.34364]	0.125534 [2.08899]
IngPet(-7)	-0.00000 [-1.65219]	0.00000 [1.29571]	-0.168685 [-0.96446]	-0.133213 [-2.18606]***
IngPet(-9)	-0.00000 [-0.92707]	0.00000 [0.03408]	0.631857 [3.63074]***	0.145274 [2.39594]***
IngPet(-10)	0.00000 [2.70013]***	0.00000 [0.29219]	-0.384726 [-2.14572]***	-0.054755 [-0.87651]
IngPet(-11)	-0.000000 [-0.04163]	0.00000 [0.06524]	0.381187 [2.08341]***	0.01571 [0.24645]
IngPet(-12)	0.00000 [0.83516]	0.00000 [0.01946]	-0.383413 [-2.40984]***	0.067273 [1.21359]
C	-1.673574 [-0.39475]	2.633636 [2.72775]***	-29677.34 [-1.42582]	-10757.13 [-1.48336]
R-squared	0.98618	0.993929	0.740303	0.931353
Adj. R-squared	0.983961	0.992955	0.698613	0.920332
Sum sq. resids	5238.483	271.6867	1.26E+11	1.53E+10
S.E. equation	4.185691	0.953232	20549.85	7159.763
F-statistic	444.5003	1019.844	17.75715	84.51246
Log likelihood	-965.6064	-450.7164	-3923.236	-3556.313
Akaike AIC	5.831071	2.871933	22.82894	20.72019
Schwarz SC	6.373479	3.414341	23.37135	21.2626
Mean dependent	50.02399	87.02293	34486.71	31892.15
S.D. dependent	33.05073	11.35648	37432.28	25366.34

Fuente: elaboración propia en Eviews.

Del cuadro 4 resalta como el primer rezago del precio del petróleo es importante para explicar el ingreso petrolero del gobierno federal, así como los tres primeros rezagos de este precio del petróleo, son importantes para explicar el gasto de capital presupuestario. Además, los rezagos propios de cada variable son importantes para explicar los valores actuales de ellas mismas en los cuatro casos y los coeficientes de determinación son cercanos al 99% tres de ellas y sólo en el caso del gasto de capital es del 74%. Después del modelo anterior, procedimos a verificar la causalidad a través de Granger (cuadro 5).

Cuadro 5
Prueba de causalidad para la muestra 1990M01–2008M12

Hipótesis nula	Obs.	Estadístico F
MexIndPr no Granger causa a PetroPrecio	216	0.90082
PetroPrecio no Granger causa a MexIndPr		0.95087
IngPet no Granger causa a PetroPrecio	216	5.68282***
PetroPrecio no Granger causa a IngPet		8.84133***
Gastocap no Granger causa a Petroprecio	216	3.20432***
PetroPrecio no Granger causa a Gastocap		1.54756
IngPet no Granger causa a MexIndPr	216	0.4907
MexIndPr no Granger causa a IngPet		0.71827
Gastocap no Granger causa a MexIndPr	216	0.32174
MexIndPr no Granger causa a Gastocap		0.49487
Gastocap no Granger causa a IngPet	216	9.76669***
IngPet no Granger causa a Gastocap		3.79818***

Fuente: elaboración propia en Eviews con datos de la SHCP y Banxico.

De acuerdo con los resultados del cuadro 5, se confirma, consistente con lo discutido en la revisión de la literatura, la presencia

de varias relaciones de causalidad en el sentido de Granger. Los precios del petróleo causan, en el sentido de Granger, a la producción industrial, los ingresos petroleros del gobierno, al gasto de capital del gobierno; y el ingreso petrolero causa al gasto de capital del gobierno. El precio del petróleo causa, en el sentido de Granger, a los ingresos del gobierno federal mientras que no afecta a la producción industrial. Esto podría deberse al efecto del Tratado de Libre Comercio y la crisis de 1994, los cuales por un lado cambiaron la estructura industrial de la economía mexicana y, por el otro, la crisis marcó un alto y reanudación del crecimiento económico bajo una nueva dinámica, donde el sector exportador industrial da cuenta de cerca del 40% del total de exportaciones de acuerdo a datos de Banxico.

Cuadro 6
Prueba de causalidad para la muestra 2009M01–2019M12

Hipótesis nula	Obs.	Estadístico F
MexIndPr no Granger causa a PetroPrecio	132	1.27142
PetroPrecio no Granger causa a MexIndPr		2.85448***
IngPet no Granger causa a PetroPrecio	132	0.90562
PetroPrecio no Granger causa a IngPet		7.36275***
Gastocap no Granger causa a Petroprecio	132	1.30524
PetroPrecio no Granger causa a Gastocap		0.49611
IngPet no Granger causa a MexIndPr	132	1.92684***
MexIndPr no Granger causa a IngPet		0.97838
Gastocap no Granger causa a MexIndPr	132	1.37779
MexIndPr no Granger causa a Gastocap		0.92278
Gastocap no Granger causa a IngPet	132	0.82533
IngPet no Granger causa a Gastocap		0.87349

Fuente: elaboración propia en Eviews con datos de la SHCP y Banxico.

Al estimar las pruebas solamente para el periodo 2009-2019 (cuadro 6), se revela que el precio del petróleo y el ingreso causan, en el sentido de Granger, a la producción industrial y a los ingresos del gobierno federal, lo cual confirma que el ingreso fiscal estuvo altamente influido por los ingresos petroleros, dada la escasa recaudación fiscal por otros rubros como el ISR a partir de la crisis de 1994 y el inicio del Tratado de Libre Comercio, dada la incapacidad del estado mexicano para implementar una reforma fiscal que lo haga menos dependiente del ingreso petrolero.

Cuadro 7
Prueba de cointegración

Muestra: 1990M01-2019M12

Series: PetroPrecio, MexIndPr, IngPet, Gastocap

Intervalo de rezagos: 1 a 12

Número de relaciones de cointegración seleccionadas por el modelo (nivel al 0.05)

Tendencia:	Ninguna	Ninguna	Lineal	Lineal	Cuadrática
Intercepto:	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Prueba (tendencia):	No	No	No	Sí	Sí
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
Akaike Information Criteria by Rank (rows) and Model (columns)					
0	52.27076	52.27076	52.27537	52.27537	52.28661
1	52.26687*	52.27060	52.27030	52.27211	52.27774
3	52.30835	52.29979	52.29875	52.30371	52.29969
4	52.35329	52.33583	52.33583	52.34067	52.34067

Fuente: elaboración propia en Eviews.

Dadas las pruebas de causalidad, procedimos a agregar el análisis de cointegración de Johansen para toda la muestra. Los resultados aparecen en el cuadro 7. Con base en los resultados, existe una relación de cointegración entre las variables utilizadas y que es posible estimar un modelo VEC para representar dicha relación en el corto plazo. El cuadro 8 presenta el modelo estimado con 12 rezagos. Los primeros rezagos del precio del petróleo son significativos en el gasto de capital presupuestario, así como en el ingreso petrolero del gobierno. En la producción industrial el precio del petróleo sólo es significativo al 90% en los primeros rezagos y el décimo rezago es significativo, por lo que su papel en los efectos a corto plazo en la producción industrial se tendría que analizar con otras variables no incluidas.

Conclusión

Este capítulo tiene como propósito mostrar que los cambios positivos en el precio del petróleo tienen un efecto positivo en las finanzas públicas a través del gasto de inversión y corriente y en consecuencia sobre la producción, medido a través de la producción industrial para el periodo observado. Para el periodo 2002–2019 encontramos que existe una relación de cointegración entre las variables utilizadas y esto permite implementar un modelo de corrección de error para analizar el corto plazo entre las variables el cual se manifiesta en la relación tan estrecha entre el precio del petróleo, la producción industrial, el gasto de capital y el ingreso petrolero del gobierno federal.

Cuadro 8

Modelo VEC para la primera diferencia del precio del petróleo, producción industrial, gasto de capital e ingresos petroleros del gobierno federal

Muestra: 1990M03-2019M12

Muestra: 1991M02-2019M12

Coint. Eq.:	CointEq1			
Petroprecio(-1):	1			
MexIndPr(-1)	0.841609			
	[3.30810]	***		
Gastocap(-1)	-0.001168			
	[-4.37173]	***		
C	-71.1534			
	DPetroprecio	DIndPr	DIngPet	DGastocap
R-squared	0.315438	0.19534	0.559837	0.737664
Adj. R-squared	0.202497	0.062585	0.487217	0.694383
Sum sq. resids	5260.229	271.1026	1.54E+10	1.26E+11
S.E. equation	4.208469	0.955407	7199.75	20600.78
F-statistic	2.79294	1.471433	7.709172	17.04356
Log likelihood	-964.0496	-449.5471	-3547.362	-3912.16
Akaike AIC	5.844667	2.879234	20.73407	22.83664
Schwarz SC	6.399324	3.433892	21.28873	23.39129
Mean dependent	0.126052	0.09395	88.31954	217.1789
S.D. dependent	4.712571	0.986785	10054.27	37264.44

Nota: los resultados del modelo de corrección de errores están disponibles por parte de los autores a petición del lector.

Fuente: elaboración propia en Eviews.

Este resultado nos confirma con datos mensuales y en un ambiente VAR la estrecha dependencia con el precio del petróleo del crecimiento económico a través del sector manufacturero y el gasto de inver-

sión gubernamental. Similarmente, de otros estudios mencionados en la revisión de la literatura pero que usan otras variables o metodologías, los resultados confirman la dependencia del gasto gubernamental y la economía en el corto plazo. Cuando el precio del petróleo sube, el ingreso gubernamental sube, también el gasto de inversión y finalmente el índice de producción industrial. Así mismo, cuando el precio del petróleo baja la cadena de efectos opera en sentido contrario y al final baja la producción industrial.

El trabajo se enfoca a finanzas públicas y precio del petróleo a través de modelos VAR, pero de manera similar a [Saucedo y Rodríguez \(2019\)](#) otro de los trabajos que utilizan la técnica, pero en crecimiento económico, encontramos que el precio del petróleo afecta la economía solo que, a través de un canal diferente, el gasto de inversión, que repercute en cambios en el índice de producción industrial. Esto para un periodo similar al estudiado por otros, donde se observaron grandes cambios en el precio de este recurso y que repercutió en la disponibilidad o reducción de recursos para los diferentes gobiernos y las decisiones que se tomaron al respecto. Al igual que [Rahma et al. \(2016\)](#), [Santillán et al. \(2017\)](#), [Colmenares \(2009\)](#), que realizaron su trabajo para Medio Oriente, Latinoamérica y México respectivamente, encontramos un efecto positivo entre incrementos en el precio del petróleo, gasto del gobierno y crecimiento económico, solo que a través de la producción industrial. En nuestro trabajo encontramos que el precio del petróleo sí causa en el sentido de Granger a la producción industrial y el gasto gubernamental. A diferencia de [Davis et al. \(2001\)](#) que realizó su trabajo para Chile, México y Venezuela entre 1965-1999, encontramos una correlación positiva entre el gasto gubernamental y el precio del petróleo en nuestra muestra, 2002-2019 de manera similar a los

trabajos de [Shabsigh y Ilahi \(2007\)](#), [Sillah y Al-Sheikh \(2012\)](#), [Masan \(2016\)](#) realizados para países dependientes del petróleo. Sin embargo, el hallazgo confirma la creencia que se necesitan desarrollar instituciones que canalicen los flujos provenientes de la venta de petróleo de manera más eficiente y orientada. De lo contrario el efecto de estos sobre la producción podría verse empañado por efectos políticos. Es necesario investigar con mayor amplitud el efecto del precio del petróleo sobre el crecimiento económico incluyendo el efecto inflacionario, del tipo de cambio y la política monetaria, pues esta pudo haber afectado el efecto neto del ingreso por venta de petróleo sobre la economía.

Referencias

- Akinsola, M. O. y Odhiambo, N. (2020), Oil price and economic growth of oil-importing countries: A review of international literature, *Applied Econometrics and International Development* 20(1): 129-140.
- Allegret, J.; Couharde, C.; Coulibaly, D. y Mignon, V. (2014), Current accounts and oil price fluctuations in oil-exporting countries: The role of financial development, *Journal of International Money and Finance* 47: 185-201.
- Alley, I. (2016), Oil price volatility and fiscal policies in oil-exporting countries, *OPEC Energy Review* 40(2): 192-211.
- Arezki, R. y Hasanov, F. (2013), Global imbalances and petrodollars, *World Economy* 36: 213-232.
- Barnett, M. S. y Ossowski, M. R. (2002), Operational aspects of fiscal policy in oil-producing countries, Documento de Trabajo núm. 2-177, Fondo Monetario Internacional, Washington, DC.
- Behar, A. y Fouejieu, A. (2018), External adjustment in oil exporters: The role of fiscal policy and the exchange rate, *The World Economy* 41(3): 926-957.
- Bernanke, B. S.; Gertler, M.; Watson, M.; Sims, C. A. y Friedman, B. M. (1997),

- Systematic monetary policy and the effects of oil price shocks, *Brookings Papers on Economic Activity* 1997(1): 91-157.
- Bruno, M. y Sachs, J. (1982), Input price shocks and the slowdown in economic growth: the case of UK manufacturing. *The Review of Economic Studies*, 49(5), 679-705.
- Colmenares, F. (2009), Petróleo y crecimiento económico en México, *Economía UNAM* 5: 65.
- Davis, J.; Ossowski, R. y Fedelino, A. (2003a), Fiscal challenges in oil-producing countries: An overview, en Davis, J. M.; Ossowski, R. y Fedelino, A. (ed.), *Fiscal policy formulation and implementation in oil-producing countries*, Fondo Monetario Internacional, Washington, DC, 1-2.
- Davis, J.; Ossowski, R.; Daniel, J. y Barnett, S. (2003b), Stabilization and savings funds for nonrenewable resources: experience and fiscal policy implications, en Davis, J. M.; Ossowski, R. y Fedelino, A. (ed.), *Fiscal policy formulation and implementation in oil-producing countries*, Fondo Monetario Internacional, Washington, DC, 273-315.
- Davis, M. J. M.; Fedelino, M. A. y Ossowski, M. R. (2003c), *Fiscal policy formulation and implementation in oil-producing countries*, Fondo Monetario Internacional, Washington, DC.
- El Anshasy, A. A. y Bradley, M. D. (2011), Oil prices and the fiscal policy response in oil, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 61: 631-652.
- El Mahmah, A. y Kandil, M. (2019), Fiscal sustainability challenges in the new normal of low oil prices, *International Journal of Development Issues* 18(1): 109-134.
- Gadea, M. D.; Gómez-Loscos, A. y Montañés, A. (2016), Oil price and economic growth: a long story? *Econometrics* 4(4): 41.
- Ghalayini, L. (2011), The interaction between oil price and economic growth, *Middle Eastern Finance and Economics* 13(21): 127-141.
- Gutiérrez, V. M. (2013), Detrás de la reforma energética del sector petrolero, Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, A.C., disponible en <https://ciep.mx/xGd9>.
- Hammes, D. y Wills, D. (2005), Black gold: The end of Bretton Woods and the oil-price shocks of the 1970s, *Independent Review* 9(4): 501-511.

- Hamilton, J. D. (1983), Oil and the macroeconomy since World War II, *Journal of political economy* 91(2): 228-248.
- Hamilton, J. D. (2009), Causes and consequences of the oil shock of 2007-2008, *Brooking Papers on Economic Activity* 1: 215-261.
- Husain, A. M.; Tazhibayeva, K. y Ter-Martirosyan, A. (2008), Fiscal policy and economic cycles in oil-exporting countries (Doctoral dissertation, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta).
- Ibrahim, O. A. (2019), Sensitivity of fiscal balances to oil price shocks, *International Journal of Energy Economics and Policy* 9(2): 146-155.
- Jiménez-Rodríguez, R. y Sánchez, M. (2005), Oil price shocks and real GDP growth: empirical evidence for some OECD countries, *Applied economics* 37(2): 201-228.
- Koh, W. C. (2017), Oil price shocks and macroeconomic adjustments in oil-exporting countries, *International Economics and Economic Policy* 14(2): 187-210.
- Lyu, Y. (2019), Essays on fiscal policy and oil price shocks (Doctoral dissertation, UC San Diego).
- Masan, S. S. (2016), Oil and macroeconomic policies and performance in Oman (Doctoral Dissertation, Loughborough University).
- Mahmah, A. E. y Kandil, M. (2019), Fiscal sustainability challenges in the new normal of low oil prices: Empirical evidence from GCC countries, *International Journal of Development Issues* 18(1): 109-134.
- Mork, K. A. (1989), Oil and the macroeconomy when prices go up and down: An extension of Hamilton's results, *Journal of Political Economy* 91: 740-744.
- Naini, A. R. J. y Naderian, M. A. (2019), Oil price cycles, fiscal dominance and countercyclical monetary policy in Iran, *OPEC Energy Review* 43(1): 3-28.
- Pieschacón, A. (2012), The value of fiscal discipline for oil-exporting countries, *Journal of Monetary Economics* 59(3): 250-268.
- Rahma, E.; Perera, N. y Tan, K. (2016), Impact of oil price shocks on Sudan's government budget, *International Journal of Energy Economics and Policy* 6(2): 243-248.
- Romo, D. (2015), El campo petrolero Cantarell y la economía mexicana, *Problemas del desarrollo* 46(183): 141-164.
- Santillán-Salgado, R.J.; Calderón-Villarreal, C. y Venegas-Martínez, F. (2017), Im-

- pact of oil prices on stock markets in major Latin American countries (2000-2015), *International Journal of Energy Economics and Policy* 7(4): 205-215.
- Saucedo, E. y González, J. (2019), Efecto de los precios del petróleo en la actividad económica sectorial de México. Análisis para el periodo 2002-2018, *Revista mexicana de economía y finanzas* 14(2): 2214-243.
- Shabsigh, M. G. y Ilahi, N. (2007), Looking beyond the fiscal: Do oil funds bring macroeconomic stability? Documento de trabajo núm. 7-96, Fondo Monetario Internacional, Washington, DC.
- Sillah, B. M. y Alsheikh, H. M. (2012), Income, price, and government expenditure elasticities of oil in the gulf cooperation council countries, *International Journal of Energy Economics and Policy* 2(4).
- Sims, C. A. (1986), Are forecasting models usable for policy analysis? *Quarterly Review* 10: 2-16.
- Van Eyden, R.; Difeto, M.; Gupta, R. y Wohar, M. E. (2019), Oil price volatility and economic growth: Evidence from advanced economies using more than a century's data, *Applied Energy* 233: 612-621.
- Villafuerte, M. y Lopez-Murphy, P. (2010), Fiscal policy in oil producing countries during the recent oil price cycle, Documento de trabajo núm. 28, Fondo Monetario Internacional, Washington, DC.

CAPÍTULO 6

Pobreza y consumo de energía por entidad federativa en México¹

Juan Marroquín Arreola
Humberto Ríos Bolívar

La pobreza es un fenómeno multidimensional con componentes de orden económico, político y social, que está presente en la mayoría de los países del mundo, particularmente en México, afecta a más de la mitad de su población. Además, es reflejo de múltiples causas y factores que la determinan y la condicionan a través del tiempo. Desde una perspectiva de orden general, el estudio de las causas y factores que la expliquen va más allá de lo económico, aunque sus efectos se expresen y manifiesten principalmente en este ámbito.

¹ Este documento es derivado del proyecto SIP: 20180621, “Pobreza y consumo de energía por entidad federativa en México”. Se agradece al Instituto Politécnico Nacional el apoyo brindado.

La pobreza entendida desde un enfoque de carencia de ingreso, es decir, insuficiencia de recursos para satisfacer una serie de necesidades básicas de la población, tiene como uno de sus factores que la propician o ayudan a su persistencia, la carencia de consumo de servicios básicos, particularmente los de primera necesidad como alimentación, educación, salud y servicios del hogar como el consumo de energía, agua, gas, etcétera. Desde esta perspectiva, existe en la literatura un creciente interés por analizar la interacción entre el consumo en servicios de energía y la presencia de pobreza en la población. Al respecto, [Foster y Tre \(2000\)](#) estudiaron el impacto de la intervención energética en los pobres de Guatemala. [Hosier y Dowd \(1987\)](#) y [Leach \(1992\)](#) vincularon la naturaleza de la energía consumida con los ingresos. La teoría explica que el tipo de energía consumida por una nación depende en gran medida del nivel de ingreso per cápita. [Pachauri y Spreng \(2004\)](#) mencionan que el acceso a la energía es fundamental para cualquier iniciativa de reducción de la pobreza, también argumentan que el alto nivel de pobreza afecta el patrón de consumo de energía en términos de cantidad y calidad. Asimismo, [Kaygusuz \(2011\)](#) y [Sovacool \(2012\)](#) mencionan que la privación de energía inhibe la producción y limita el nivel de las actividades económicas.

Los pobres siempre son propensos al uso de fuentes de energía tradicionales e ineficientes, como la madera y el carbón, que es poco probable que aumenten el crecimiento económico. Pocos estudios han evaluado el efecto del consumo de energía en la pobreza ([Gertler *et al.*, 2011](#)), la mayoría se centran en la relación teórica entre energía y pobreza ([Short, 2002](#)). Unos pocos examinan la magnitud del impacto del consumo de energía en la pobreza. [Meikle y Bannister \(2003\)](#), por ejemplo, analizaron los vínculos entre energía y pobreza en hogares

urbanos pobres en Indonesia, Ghana y China. Encontraron que los pobres son más vulnerables a las conmociones en el mercado energético.

[Darby \(2011\)](#) afirmó que la energía debe verse como una mercancía o un recurso ecológico y una necesidad capaz de aumentar el bienestar social y económico de las personas. Según el autor, el suministro de energía adecuado afecta en cierta medida el crecimiento económico y en algunos casos puede determinar el nivel de desarrollo, ideología sociocultural y económica que gobierna una nación. [Fatih \(2007\)](#) también señaló que una fuerte voluntad política en la mejora del bienestar general de los ciudadanos es la principal estrategia para reducir la pobreza, pero sin descuidar el suministro de energía.

Por otro lado, un acceso insuficiente a fuentes de energía modernas y limpias puede intensificar ciertas situaciones de pobreza. Por ejemplo, las personas necesitarán gastar mucho tiempo y recursos para recolectar fuentes de energía alternativas como la madera; lo cual puede empeorar ciertas situaciones de pobreza. Así también los efectos nocivos para la salud de las fuentes tradicionales de energía pueden llevar a dicho empeoramiento, al reducirse las capacidades de las personas. La falta de acceso a la energía puede generar efectos adicionales, por ejemplo, en el agua (ya que el bombeo requiere energía), en la seguridad alimentaria (ya que la recolección de madera puede modificar los ecosistemas) y en la posibilidad de desarrollar actividades económicas.

[Pesaran \(2004\)](#) menciona que la pobreza energética, a menudo es definida como una situación en la que las personas o los hogares no pueden adecuadamente ofrecer servicios de energía requeridos en sus hogares a un costo asequible. Esto se debe al aumento de los precios de la energía, así como a los impactos recesivos en las economías nacionales y regionales.

Es importante que tanto el gobierno federal como los gobiernos estatales reconozcan y aborden este problema, ya que los servicios energéticos básicos son fundamentales para garantizar que las comunidades no sufran impactos negativos en la salud, no se afiance más la pobreza y puedan mantener una buena calidad de vida. Es necesario proteger a las comunidades más vulnerables y evitar que los grupos de la sociedad caigan en la pobreza energética. El funcionamiento de los mercados energéticos claramente puede tener un impacto en dicha situación, al garantizar la protección del consumidor, ofrecer tarifas competitivas y accesibles, así como ayudar en el uso eficiente de la energía.

Desde la perspectiva de la Comisión Reguladora de Energía, la pobreza energética se evalúa principalmente en el contexto de la electricidad y el gas, que están sujetos a la legislación del mercado interior de la energía (CRE, 2010). Este enfoque diferencia la pobreza energética de conceptos más amplios que abarcan todo el uso de energía residencial y los servicios de energía fuera de las viviendas, por ejemplo, movilidad. Sin embargo, se tiende a considerar la pobreza energética como un concepto más amplio y no necesariamente para cubrir sólo mercados energéticos.

Un argumento muy recurrente en la literatura del desarrollo económico sugiere que existen condiciones para el desarrollo, cuando se logran tres objetivos principales: subir el ingreso per cápita, bajar la desigualdad y reducir la pobreza. O sea, el desarrollo debe mejorar el bienestar de las personas en un sentido amplio, tanto económico como social. La reducción de la pobreza, además de la distribución del ingreso, también depende de la calidad de recursos humanos y de la posibilidad de acceso a servicios como las fuentes de energía.

El consumo básico por parte de hogares pobres todavía está dominado por el uso de energía fósil, lo cual equivale al crecimiento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, que luego se convierte en un problema de cambio climático con diversos impactos en la calidad ambiental.

Por ello, el objetivo de este documento es analizar la relación entre los niveles de pobreza y el consumo de energía de la población por entidad federativa en México. Para lograr dicho propósito, se establecen los fundamentos teóricos y conceptuales del tema, se revisa una serie de documento de la literatura que aborden estudios sobre pobreza y consumo de energía, se realiza un análisis descriptivo de las variables utilizadas y se utiliza un modelo de datos panel que incorpora a todas las entidades federativas.

El documento se estructura en el siguiente orden, primero se abordan los aspectos conceptuales de la pobreza en México. Enseguida, se expone una breve revisión de la literatura que versa sobre el consumo de energía y pobreza. Posteriormente, se elabora un análisis descriptivo de las variables utilizadas. Luego se realiza un análisis econométrico. Finalmente, se exponen las conclusiones.

Aspectos conceptuales de la pobreza en México

Tradicionalmente y hasta hace aproximadamente una década, la medición de la pobreza se realizaba con base en el ingreso que perciben las personas, consistía en un enfoque unidimensional, utilizando como único factor explicativo el ingreso que reciben las personas o las familias, el ingreso pues, jugaba una aproximación del bienestar económico de la población.

Es de reconocerse la gran utilidad de este método, también la amplia aceptación de la mayoría de los países del mundo, aunque dicho método unidimensional de medición de la pobreza fue sometido por mucho tiempo a exhaustivas revisiones de orden técnico y conceptual.

Después de un revisión profunda al método unidimensional, se vertieron múltiples argumentos para afirmar que tenía numerosas limitaciones al tratar de medir el fenómeno de la pobreza; un argumento de peso consistía en que el concepto de la pobreza comprende diversas dimensiones, de ahí la pertinencia de tratarla desde un enfoque multidimensional, que contemple componentes más allá del nivel de ingreso necesario para adquirir bienes y servicios en el mercado.

Para consensar la definición de la pobreza y el método a utilizar para su medición, se reunieron grandes exponentes conocedores del tema. Una vez pasada la discusión técnica de la metodología para la medición de la pobreza, se pasó a una etapa de formalización, del concepto multidimensional, conforme a lo dispuesto en el Artículo 36 de la Ley General de Desarrollo Social (LGDS), el CONEVAL debe establecer los lineamientos y los criterios para establecer dicha definición de la pobreza, la identificación y la medición de la pobreza en México, tomando en consideración al menos las siguientes dimensiones:

1. Ingreso corriente per cápita.
2. Rezago educativo promedio en el hogar.
3. Acceso a los servicios de salud.
4. Acceso a la seguridad social.
5. Calidad y espacios de la vivienda.
6. Acceso a los servicios básicos en la vivienda.
7. Acceso a la alimentación.
8. Grado de cohesión social.

Consumo de energía y pobreza

El acceso a los servicios básicos en la vivienda como una dimensión del concepto de pobreza multidimensional, ha dado origen a una discusión académica sobre la relevancia que tiene la economía de la energía en el estudio de la pobreza. Por tanto, es importante analizar más directamente el consumo de energía, en particular la electricidad, a nivel de hogares, para enfatizar las tendencias que ocurren en relación con la desigualdad y los niveles de pobreza. Para estudiar el consumo de energía de los hogares, el análisis enfrenta importantes retos en su parte metodológica. Una de las formas más frecuentes y sencillas es medir el consumo de energía a través de aparatos electrodomésticos, sin embargo, el proceso es costoso.

En términos generales, como lo describen [Swan y Ugursal \(2009\)](#), existen dos métodos fundamentales para modelar y analizar diversos aspectos del consumo de energía residencial: enfoques de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba. Los modelos de arriba hacia abajo funcionan a un nivel agregado; usualmente se usan modelos de series de tiempo para investigar las interrelaciones entre el sector energético y la economía. Los modelos de abajo hacia arriba se basan en aspectos desagregados, utilizan datos de alta resolución para estimar el consumo de energía y las emisiones de CO₂. Se pueden identificar dos clases dentro de los modelos de abajo hacia arriba: los estadísticos y los de ingeniería.

Según la *Energy Information Administration* (IEA, por sus siglas en inglés) aunque la demanda mundial de energía se ha desacelerado, las estimaciones per cápita para el consumo de los hogares en muchos países ha aumentado, especialmente en economías emergentes. México

no es una excepción a esta tendencia. De acuerdo con la Secretaría de Energía ([SENER,2018](#)), en 1995 este sector representó el 18% de la energía de todas las fuentes, mientras que en 2017 representó casi el 33%.

Además, el consumo de electricidad residencial es el fragmento más importante y dinámico, en últimas décadas ha crecido en promedio a una tasa anual de 5.1%, superando el crecimiento de los demás sectores. Según la SENER, este comportamiento requiere de gran atención, dado que el sector energético mexicano está dominado por el petróleo y el gas, donde el 82% de la electricidad se produce a base de petróleo, gas o carbón. La expansión del consumo eléctrico se produjo en un contexto económico de inestabilidad y pobreza.

Según la [CEPAL \(2017\)](#), la expansión del consumo de electricidad se produjo en un contexto económico de desempeño macroeconómico inestable y deficiente, pero donde los niveles de vida y el consumo mejoraron y, a pesar de los altibajos en las condiciones macroeconómicas, el promedio per cápita creció un 27% entre 1992 y 2016, reflejando los cambios en el poder adquisitivo de los hogares.

[Lenzen *et al.* \(2006\)](#) investigan acerca del ingreso y el consumo de energía a través de los aparatos eléctricos. Mencionan que estudios anteriores demuestran que los ingresos tienen un efecto crítico en el consumo de energía, ya que existe una asociación positiva entre ellos. [Cayla *et al.* \(2011\)](#) sugieren que los ingresos desempeñan un papel esencial, no sólo en los hábitos de consumo, sino también en los tipos de combustible y el tipo de tecnología implementada en su consumo.

[Zhou y Teng \(2013\)](#) mencionan que los estudios empíricos sobre el consumo de energía residencial han recibido una atención considerable. Por razones de no disponibilidad de datos desglosados, la mayoría

de estos utilizan datos de series de tiempo agregadas, y sólo unos pocos micro estudios utilizan los datos disponibles a nivel de hogares. Por su parte, [Brounen *et al.* \(2012\)](#) argumentan que muchos de los estudios actuales sobre el consumo de energía en edificios residenciales y los debates sobre la eficiencia energética en el *stock* de viviendas, se centran en los determinantes físicos y técnicos del consumo de energía, descuidando el papel de los comportamientos económicos de los hogares residentes.

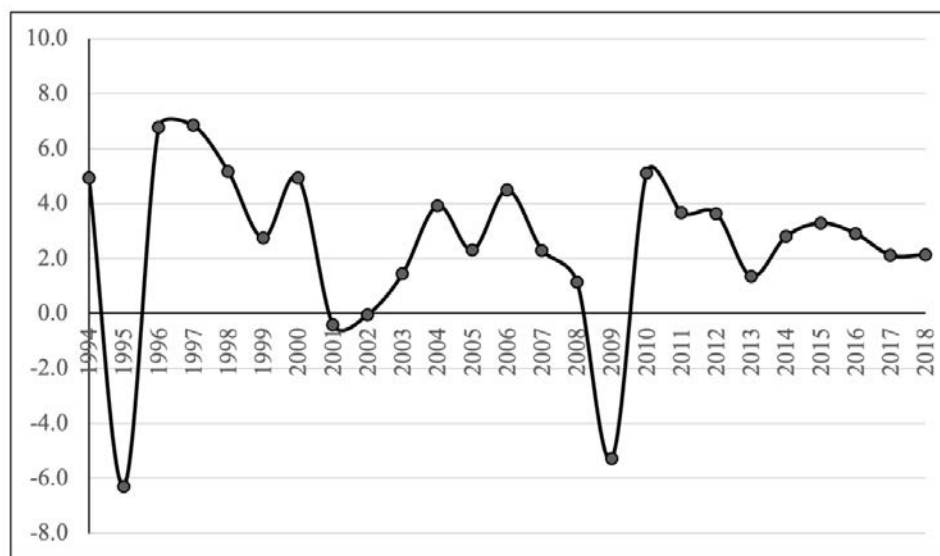
[Belaïd y Garcia \(2016\)](#) abordan el tema de la heterogeneidad de las preferencias en el uso de energía, mediante el estudio de la relación entre las intensidades efectivas del uso de energía para varios servicios, es decir, comportamientos como la temperatura de calentamiento, el tiempo de funcionamiento de los aparatos, la frecuencia de realización de algunos servicios, características del hogar y vivienda, y el consumo de energía.

Durante varias décadas, otra forma de explicar el papel de las preferencias o el comportamiento a la hora de modelar el consumo de energía ha sido integrar en los modelos de demanda de energía posibles interacciones entre las características de la vivienda o los aparatos que utilizan mucha energía y las características de los hogares. Al hacer esto, los académicos asumen la existencia de elecciones y preferencias implícitas en términos de las características del hogar y sus efectos en el consumo de energía.

Análisis descriptivo de la información

El crecimiento económico varía dependiendo de la dinámica de la economía, la cual a su vez está influenciada por las políticas fiscales, monetarias y comerciales que se aplican, así como de diversos factores externos a los cuales está vinculada la actividad económica. En la figura 1 se puede ver la evolución del crecimiento, donde en 1995 y 2009 se observan significativas caídas.

Figura 1
Evolución del crecimiento económico



Fuente: elaboración propia con base en las estadísticas del Banco de México.

Respecto a las personas en situación de pobreza, entre 2008 y 2018 no disminuyó lo esperado por los gobiernos, ya que tuvo vaivenes de aumentos y marginales disminuciones, pero se continúa sin poder

disminuirla sustancialmente. En el cuadro 1 se puede ver la evolución de las personas en situación de pobreza entre 2008 y 2018.

Cuando se habla de energía, la mayoría de la gente suele pensar en electricidad. Esta es sólo una de las formas de energía que han sido explotadas durante muchos años. Combustibles convencionales incluyen: petróleo, gas natural, carbón y también se puede añadir la energía de los ríos que se aprovecha para la energía hidroeléctrica. En la figura 2 se puede observar el comportamiento del consumo de energía en México.

Respecto al consumo de energía por entidad federativa, entre los estados que mayor consumo tienen son el Estado de México, Nuevo León y la Ciudad de México. En un segundo bloque con mayor consumo están Baja California, Coahuila, Chihuahua, Jalisco, Guanajuato, Sonora, Tamaulipas y Veracruz. Esto se debe a la gran actividad industrial que se tiene en dichas entidades. En la figura 3 se puede observar el consumo de energía por entidad federativa. En la figura 3 también se observa que las entidades con menor consumo de energía son Campeche, Colima, Aguascalientes, Nayarit, Tlaxcala, Zacatecas, Oaxaca, Chiapas, Durango, Guerrero y Morelos.

Con relación a la producción de petróleo crudo, México es el décimo mayor productor de petróleo del mundo y tiene aproximadamente 11.100 millones de barriles de reservas de petróleo, el 18 más grande del mundo según datos de la SENER. Sin embargo, la producción de petróleo de México ha disminuido en los últimos años (véase la figura 4).

La mayor parte de la producción de México se encuentra en alta mar, en las aguas poco profundas de la Bahía de Campeche, que forma parte del Golfo de México, y se concentra en dos campos: Ku-Maloob-Zaap (KMZ) y Cantarell, esto representa el 75%. Aunque según información de Pemex, en el 2019 en Tabasco se descubrió un gigantesco yacimiento que cuenta aproximadamente con 700 millones de barriles de petróleo. En lo que respecta a la producción de gas, las reservas probadas de México están en declive debido a la subinversión en la exploración. La producción también ha comenzado a disminuir en los últimos años, debido a que los diferenciales de precios han hecho más rentable para Pemex producir petróleo que gas. En la figura 5 se aprecia el comportamiento de la producción de gas natural que, tras un leve aumento en la producción, ha empezado a disminuir paulatinamente.

Análisis econométrico mediante datos de panel

El modelo utilizado en este documento corresponde a un modelo de datos panel, que tiene ventajas como incrementar la eficiencia econométrica en la estimación, amplía el ámbito de preguntas económicas por resolverse y permite solucionar problemas econométricos como la existencia de factores no observados o sesgo por variables no incluidas. Este último beneficio está íntimamente relacionado con lo que se conoce en la literatura econométrica como heterogeneidad no observada, la cual puede modelarse de diferentes formas y asumirse fija o aleatoria. Según [Burdisso \(1997\)](#), la especificación general de un modelo de regresión con datos de panel es la siguiente:

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \beta X_{it} + u_{it}, \quad (1)$$

Cuadro 1
Evolución de la pobreza por entidad federativa

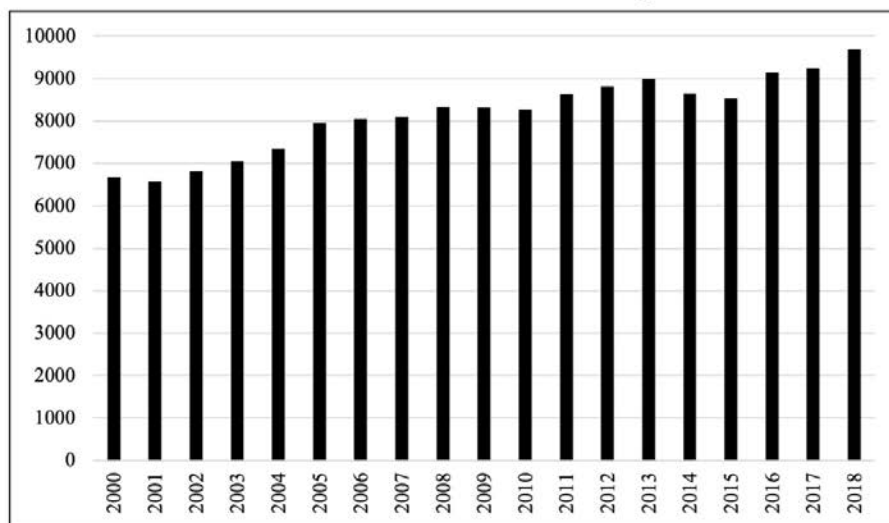
Entidad	Pobreza											
	Porcentaje						Miles de personas					
	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Agascalientes	37.6	38.1	37.8	34.8	28.2	26.2	435.3	456.8	467.6	442.9	369.7	351.5
Baja California	26.0	31.5	30.2	28.6	22.2	23.3	809.7	1,019.8	1,010.1	984.9	789.1	848.4
Baja California Sur	21.4	31.0	30.1	30.3	22.1	18.1	130.5	203.0	211.3	226.2	175.6	151.7
Campeche	45.9	50.5	44.7	43.6	43.8	46.2	373.1	425.3	387.9	391.0	405.0	440.4
Coahuila	32.7	27.8	27.9	30.2	24.8	22.5	885.8	775.9	799.3	885.8	745.9	691.1
Colima	27.4	34.7	34.4	34.3	33.6	30.9	173.4	230.3	237.2	244.9	248.7	235.6
Chiapas	77.0	78.5	74.7	76.2	77.1	76.4	3,682.3	3,866.3	3,782.3	3,961.0	4,114.0	4,174.6
Chihuahua	32.1	38.8	35.3	34.4	30.6	26.3	1,105.1	1,371.6	1,272.7	1,265.5	1,150.0	1,005.7
Ciudad de México	27.6	28.5	28.9	28.4	27.6	30.6	2,465.7	2,537.2	2,565.3	2,502.5	2,434.4	2,682.7
Durango	48.4	51.6	50.1	43.5	36.0	37.3	791.4	864.2	858.7	761.2	643.3	680.0
Guanajuato	44.1	48.5	44.5	46.6	42.4	43.4	2,403.6	2,703.7	2,525.8	2,683.3	2,489.7	2,587.8
Guerrero	68.4	67.6	69.7	65.2	64.4	66.5	2,319.6	2,330.0	2,442.9	2,315.4	2,314.7	2,412.2
Hidalgo	55.2	54.7	52.8	54.3	50.6	43.8	1,443.6	1,477.1	1,465.9	1,547.8	1,478.8	1,311.1
Jalisco	36.7	37.0	39.8	35.4	31.8	28.4	2,657.1	2,766.7	3,051.0	2,780.2	2,560.6	2,337.6
México	43.6	42.9	45.3	49.6	47.9	42.7	6,578.2	6,712.1	7,328.7	8,269.9	8,230.2	7,546.5
Michoacán	55.5	54.7	54.4	59.2	55.3	46.0	2,411.2	2,424.8	2,447.7	2,708.6	2,565.9	2,161.9
Morelos	48.8	43.2	45.5	52.3	49.5	50.8	857.6	782.2	843.5	993.7	965.9	1,013.3
Nayarit	41.7	41.4	47.6	40.5	37.5	34.8	444.1	461.2	553.5	488.8	470.1	451.0
Nuevo León	21.4	21.0	23.2	20.4	14.2	14.5	976.3	994.4	1,132.9	1,022.7	737.8	773.0
Oaxaca	61.8	67.0	61.9	66.8	70.4	66.4	2,354.4	2,596.3	2,434.6	2,662.7	2,847.3	2,714.7
Puebla	64.6	61.5	64.5	64.5	59.4	58.9	3,705.6	3,616.3	3,878.1	3,958.8	3,728.2	3,763.7
Querétaro	35.2	41.4	36.9	34.2	31.1	27.6	629.1	767.0	707.4	675.7	635.7	579.2

Cuadro 1
Continuación

Entidad	Pobreza											
	Porcentaje						Miles de personas					
	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Quintana Roo	33.7	34.6	38.8	35.9	28.8	27.6	428.1	471.7	563.3	553.0	471.0	474.8
San Luis Potosí	50.9	52.4	50.5	49.1	45.5	43.4	1,304.4	1,375.3	1,354.2	1,338.1	1,267.7	1,229.0
Sinaloa	32.4	36.7	36.3	39.4	30.8	30.9	905.6	1,048.6	1,055.6	1,167.1	929.7	946.9
Sonora	27.1	33.1	29.1	29.4	27.9	28.2	716.9	905.2	821.3	852.1	831.4	863.0
Tabasco	53.8	57.1	49.7	49.6	50.9	53.6	1,188.0	1,291.6	1,149.4	1,169.8	1,228.1	1,320.2
Tamaulipas	33.8	39.0	38.4	37.9	32.2	35.1	1,097.7	1,301.7	1,315.6	1,330.7	1,156.2	1,287.9
Tlaxcala	59.6	60.3	57.9	58.9	53.9	48.4	687.7	719.0	711.9	745.1	701.8	645.8
Veracruz	51.2	57.6	52.6	58.0	62.2	61.8	3,879.0	4,448.0	4,141.8	4,634.2	5,049.5	5,088.6
Yucatán	47.0	48.3	48.9	45.9	41.9	40.8	907.0	958.5	996.9	957.9	901.9	900.5
Zacatecas	50.1	60.2	54.2	52.3	49.0	46.8	742.2	911.5	835.5	819.8	780.3	755.2
Total	44.4	46.1	45.5	46.2	43.6	41.9	49,489.5	52,813.0	53,349.9	55,341.6	53,418.2	52,425.9

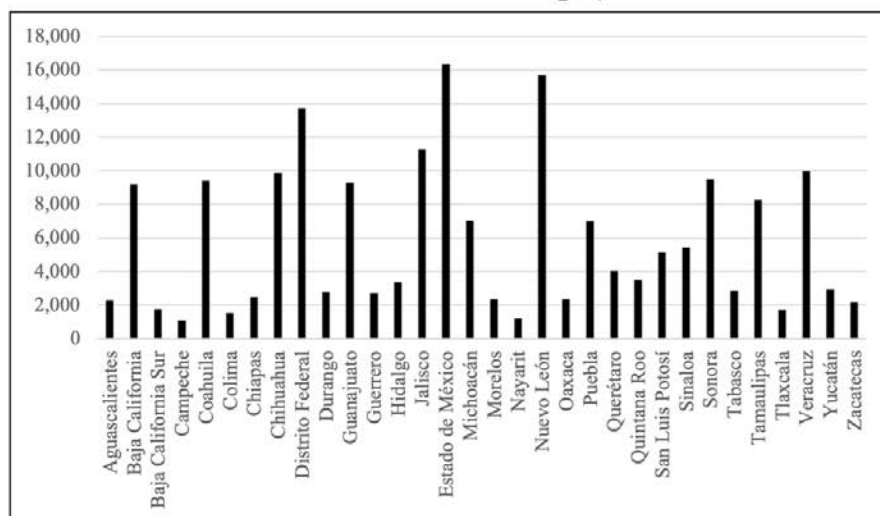
Fuente: INEGI.

Figura 2
Evolución del consumo de energía



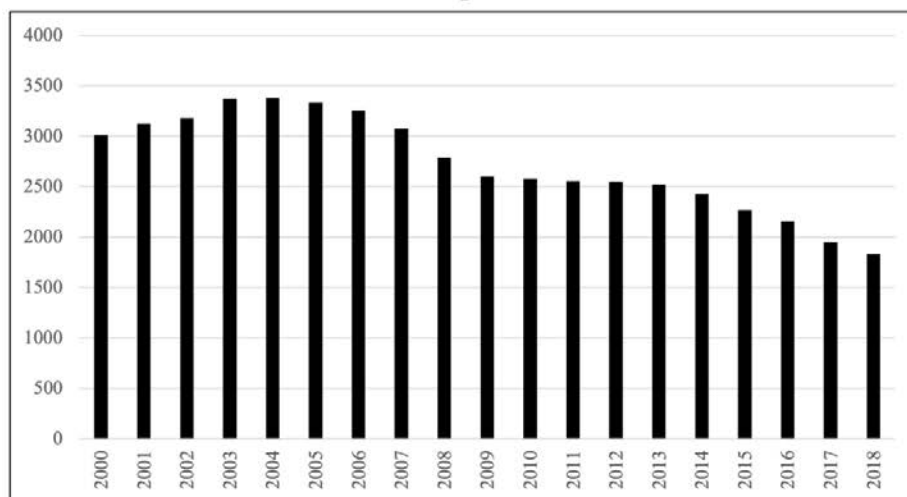
Fuente: elaboración propia con base en las estadísticas del Banco de México.

Figura 3
Promedio del consumo de energía, 2002–2018



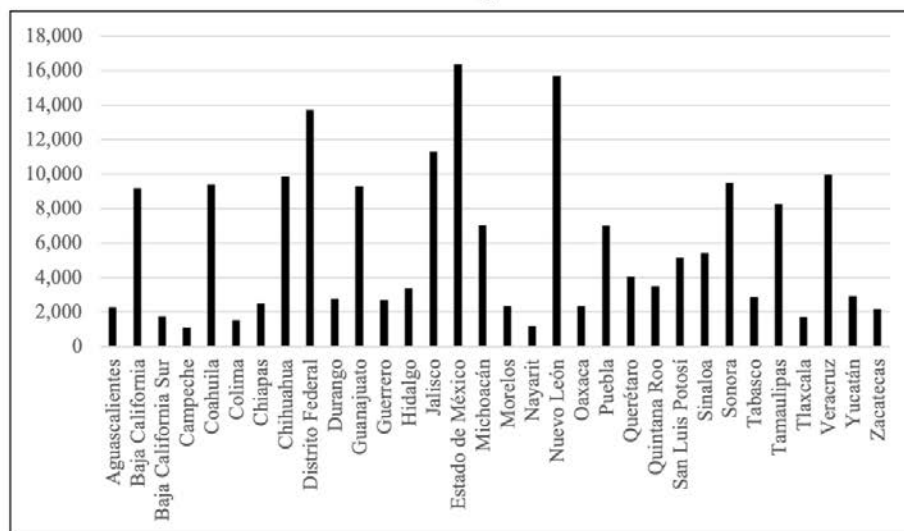
Fuente: elaboración propia con base en las estadísticas del Banco de México.

Figura 4
Producción de petróleo crudo



Fuente: elaboración propia con base en datos de Pemex.

Figura 5
Producción de gas natural



Fuente: elaboración propia con base en datos de Pemex.

con $i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T$. Además, i se refiere al individuo o a la unidad de estudio (corte transversal), t a la dimensión en el tiempo, α_{it} es un vector de interceptos de n parámetros, β es un vector de K parámetros y X_{it} es la i -ésima observación al momento t para las K variables explicativas. En este caso, la muestra total de las observaciones en el modelo vendría dado por $N \times T$.

Es usual interpretar los modelos de datos de panel a través de sus componentes de errores. El término de error U_{it} incluido en la ecuación (1), puede descomponerse de la siguiente manera:

$$U_{it} = u_i + \sigma_t + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

donde u_i representa los efectos no observables que difieren entre las unidades de estudio, pero no en el tiempo, por ejemplo, σ_t se le identifica con efectos no cuantificables que varían en el tiempo, pero no entre las unidades de estudio y ε_{it} se refiere al término de error puramente aleatorio.

Existen dos clases de estimación con datos de panel: modelos de efectos fijos y modelos de efectos aleatorios.

Modelo de efectos fijos

Este modelo considera que existe un término constante diferente para cada individuo, y supone que los efectos individuales son independientes entre sí, por lo cual, las variables explicativas afectan por igual a las unidades de corte transversal y que éstas se diferencian por características propias de cada una de ellas, medidas por medio del intercepto. Es por ello que los N interceptos se asocian con variables dummy con coeficientes específicos para cada unidad, los cuales se deben estimar.

Para la i -ésima unidad de corte transversal, la relación es la siguiente:

$$Y_i = i\alpha_i + \beta X_i + u_i, \quad (3)$$

donde el subíndice i representa un vector columna de unos. Debe hacerse notar que en este modelo se presenta una pérdida importante de grados de libertad.

Modelo de efectos aleatorios

A diferencia del modelo de efectos fijos, el modelo de efectos aleatorios considera que los efectos individuales no son independientes entre sí, sino que están distribuidos aleatoriamente alrededor de un valor dado. Una práctica común en el análisis de regresión es asumir que el gran número de factores que afecta el valor de la variable dependiente pero que no han sido incluidas explícitamente como variables independientes del modelo, pueden resumirse apropiadamente en la perturbación aleatoria. Así, con este modelo se considera que tanto el impacto de las variables explicativas como las características propias de cada banco son diferentes. El modelo se expresa algebraicamente de la siguiente forma:

$$Y_{it} = (\alpha + u_i) + \beta' X_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (4)$$

donde u_i representa la perturbación aleatoria que permitiría distinguir el efecto de cada individuo en el panel. Para efectos de su estimación se agrupan los componentes estocásticos, y se obtiene la siguiente relación:

$$Y_{it} = \alpha + \beta' X_{it} + U_{it}, \quad (5)$$

donde $U_{it} = \sigma_{it} + u_i + \varepsilon_{it}$ se convierte en el nuevo término de la perturbación, U no es homocedástico, donde $\sigma_{it}, u_i, \varepsilon_{it}$ corresponden al error asociado con las series de tiempo (σ_{it}), a la perturbación de corte transversal (u_i) y el efecto combinado de ambas ε_{it} .

En otras palabras, se ha optado por realizar la técnica de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), modelo de efectos fijos (MEF), y modelo de efectos aleatorios (MEA) para el análisis. En relación con el modelo MCO es restringido, por lo cual, se puede utilizar una prueba F restrictiva para evaluar si se acepta o rechaza la hipótesis nula. Si se acepta la H_0 , entonces todos los coeficientes individuales son cero, por lo cual, se optaría por el MCO.

En el caso del estimador MEF, los factores no observables se asumieron fijos a través del tiempo, pero variables entre grupos. Así, se definió que estos factores estarían correlacionados con las variables explicativas del modelo. En el estimador MEA, asumimos un modelo donde los factores no observables son tratados como aleatorios y no se correlacionan con las variables explicativas incluidas en el modelo.

El modelo desarrollado aquí se basa en el estudio de [Okwanya y Abah \(2018\)](#) que valúan el impacto del consumo de energía, el stock de capital, el PIB y la estabilidad política en el nivel de pobreza, a través del modelo de datos panel como el que se especifica a continuación:

$$\begin{aligned} LNPOV_{it} = & \sigma_i + \gamma_t + \alpha_1 LNENC_{it} + \alpha_2 LNGDP_{it} \\ & + \alpha_3 LNKSTK_{it} + \alpha_4 POL_{it} + \varepsilon_{it}, \end{aligned} \quad (6)$$

donde σ_i y γ_t son los efectos fijos específicos del país y las tendencias deterministas, respectivamente; $LNGDP$ es el logaritmo del PIB per cápita; $LNENC$ es el logaritmo del consumo per cápita de energía;

LNPOV de nivel de pobreza; *LNKSTK* es el logaritmo del stock de capital y *POL* es el logaritmo de estabilidad política. El análisis de datos de panel de esta naturaleza proporciona más información y un alto grado de libertad que los datos de sección transversal o los datos de series de tiempo.

Baltagi y Pesaran (2007) mencionan que los desarrollos en el análisis de datos de panel han alentado la prueba preliminar para la dependencia de la sección transversal y la homogeneidad de las variables. Esto es necesario según Banerjee (2011) porque la turbulencia en un país puede transmitirse fácilmente a otros países a través del comercio internacional o la integración regional.

Las variables que se utilizan en la presente investigación son la pobreza, representada por el número de personas en situación de pobreza, de acuerdo con la definición del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), obtenido de las bases de datos de dicha institución. Los datos del consumo de energía se obtuvieron del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía. El producto interno bruto per cápita y el nivel de inversión se obtuvieron de las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Respecto al nivel de empleo, se obtuvo de las bases de datos de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Resultados de la estimación econométrica

Para la estimación del modelo se toma como referencia la ecuación (6) de la sección anterior. El modelo relaciona el nivel de pobreza con el consumo de energía, el ingreso per cápita, el stock de capital y nivel

de empleo por entidad federativa en México. El periodo de estudio en el modelo comprende de 2008 a 2016, dado que en ese lapso se pueden tener datos homogéneos para las variables utilizadas. Todas las variables están expresadas en logaritmos. El modelo econométrico para estimar es el siguiente:

$$pobza_{it} = \sigma_i + \alpha_1 ce_{it} + \alpha_2 pibper_{it} + \alpha_3 stock_{it} + \alpha_4 emp + \varepsilon_{it}, \quad (7)$$

donde *pobza* son las personas en situación de pobreza en la entidad *i* en el tiempo *t*, *ce* es el consumo de energía de la entidad *i* en el tiempo *t*, *pibper* es el PIB per cápita de la entidad *i* en el tiempo *t*, *stock* es el nivel de inversión de la entidad *i* en el tiempo *t* y *emp* es el nivel de empleo de la entidad *i* en el tiempo *t*. Los resultados de la estimación del modelo se muestran en los cuadros 2 y 3.

En el cuadro 2 se muestran los resultados de la estimación del modelo. En él se observan tres tipos: el modelo de datos agrupados o mínimos cuadrados ordinarios (MCO), el modelo de efectos fijos (MEF) y el modelo de efectos aleatorios (MEA). Asimismo, las pruebas estadísticas a las que se somete, como la prueba F restrictiva que compara al modelo de MEF con MCO, donde la probabilidad de su estadístico muestra una probabilidad de (0.0000) que es menor a 0.05, la cual indica que se prefiere al MEF y no al MCO. También se muestra la prueba LM que compara al MEA con MCO, el estadístico de la prueba muestra una probabilidad de (0.0000) que es menor a 0.05, la cual indica que se prefiere MEA en lugar de MCO. También se muestra la prueba Hausman que compara al MEF con MEA y el estadístico muestra una probabilidad de (0.0000), menor a 0.05, la cual indica que se prefiere MEF y no MEA, por lo que el mejor modelo de los tres es el de MEF.

Cuadro 2
Resultados de la estimación del modelo

Variables explicativas	MCO	MEF	MEA
Constante	11.4846 (0.0057)	13.1575 (0.0010)	10.5782 (0.0038)
<i>ce</i>	0.0452 (0.0048)	0.0024 (0.0028)	0.0031 (0.0039)
<i>pibper</i>	-2.4504 (0.0000)	-3.8555 (0.0000)	-3.2477 (0.0000)
<i>emp</i>	0.9877 (0.0034)	0.8513 (0.0002)	0.7960 (0.0004)
F (p-value)	(0.0000)		
LN (p-value)			(0.0000)
Hausman (p-value)		(0.0000)	
R ²	0.3244	0.4545	0.3587
Observaciones	160	160	160

Fuente: elaboración propia.

Los coeficientes de las variables indican lo siguiente. Respecto a la variable eje que es el consumo de energía (*ce*), el resultado muestra un valor de 0.00243, con una probabilidad menor a 0.05 que indica una relación positiva y estadísticamente significativa; esta relación positiva indica que conforme aumenta el consumo de energía también tiende aumentar la pobreza. Este resultado es coherente con los hallazgos de [Arellano y Chapa \(2017\)](#) quienes encuentran que, si el precio de la electricidad aumenta, los consumidores pierden poder adquisitivo, su ingreso disponible real se reduce vía el aumento del nivel de precios y la posible baja de la actividad económica. Por su parte, el PIB per cápita (*pibper*) y el nivel de inversión (*stock*) arrojan una rela-

ción negativa de -3.85545 y -2.14577 con probabilidades de (0.0000) y (0.0002) que son estadísticamente significativas. El empleo arroja un coeficiente de 0.851253, un nivel de probabilidad de (0.0002) y también es estadísticamente significativo; esa relación positiva muestra que conforme aumenta el empleo tiende a aumentar la pobreza, lo cual parece contradictorio con la teoría económica; sin embargo, podría entenderse que los empleos son precarios y mal pagados sin adecuadas prestaciones, lo cual se traduce en ingresos insuficientes para poder superar los umbrales de pobreza. En el cuadro 3 se muestran los resultados por entidad del coeficiente de efecto fijo del consumo de energía, congruentes con el argumento anterior.

Conclusiones

El objetivo de este documento fue analizar la relación entre los niveles de pobreza y el consumo de energía por entidad federativa en México. Para lo cual, se establecieron los fundamentos teóricos, se revisó literatura que aborda estudios sobre pobreza y consumo de energía, se realizó un análisis descriptivo de las variables utilizadas y se utilizó un modelo de datos panel donde se prueba el efecto que tiene en la pobreza el consumo de energía, utilizando datos de las 32 entidades federativas de la República Mexicana. Los resultados del modelo muestran que el consumo de energía afecta negativamente los niveles de pobreza, pues del modelo se obtiene una relación directa positiva entre estas variables, lo cual indica que conforme aumenta el consumo de energía también lo hace la pobreza. Por su parte, las variables de PIB per cápita y nivel de inversión muestran una relación negativa que

indica que el aumento de dichas variables, contribuye a reducir los niveles de pobreza. Sin embargo, la variable de empleo que arroja una relación directa positiva, revela que si aumenta el empleo también lo hace la pobreza, esto indica que los ingresos por empleo no están siendo suficientes para contribuir a reducir los niveles de pobreza, esto se justifica dado que en los últimos años se ha venido dando la precarización del trabajo.

Cuadro 3
Resultados del efecto fijo por entidad federativa

Coeficiente	<i>ce</i>	Coeficiente	<i>ce</i>
AGS-C	0.516802	MOR-C	0.141211
BCA-C	0.266050	NAY-C	0.004007
BCS-C	0.399494	NLE-C	0.497171
CAM-C	0.884448	OAX-C	0.592218
COAH-C	0.391566	PUE-C	0.487187
COL-C	0.284019	QUE-C	0.192479
CHI-C	0.736645	QRO-C	0.770530
CHI-C	0.363113	SLP-C	0.251115
CDM-C	0.746213	SIN-C	0.106502
DUR-C	0.172691	SON-C	0.240488
GUA-C	0.279144	TAB-C	0.317049
GUE-C	0.363951	TAM-C	0.204831
HID-C	0.307553	TLA-C	0.240247
JAL-C	0.083905	VER-C	0.541868
MEX-C	0.470245	YUC-C	0.209525
MIC-C	0.528376	ZAC-C	0.277161

Fuente: elaboración propia.

La relación entre la energía y la pobreza sirve como base para discutir opciones para mejorar la asequibilidad y el acceso de las poblaciones pobres a la energía para detener el círculo vicioso de la pobreza energética. Como mencionan [García y Graizbord \(2016\)](#), aproximadamente 37% de los hogares mexicanos están en pobreza energética, con marcadas diferencias en los niveles de privación de cada uno de los bienes económicos. El análisis de la geografía de la pobreza energética evidencia que existen diferencias espaciales y regionales importantes, las cuales están vinculadas con los niveles de rezago social de la población. Desarrollar nuevas políticas en ese campo es particularmente importante en el contexto del rápido crecimiento de la población. Si se espera que el crecimiento económico sea alto en las próximas décadas, no se espera que se reduzca la cantidad de personas sin acceso a la electricidad. Según la Agencia Internacional de Energía, este número aumentará en un 10% entre 2019 y 2030. Por ello, se deben considerar varias opciones para mejorar el acceso y la asequibilidad de la energía.

Si bien las políticas públicas son fundamentales para orientar la acción hacia los desafíos de los consumidores vulnerables y la pobreza energética, es necesario desarrollar una acción efectiva. Es evidente que se requiere una variedad de medidas de políticas públicas para enfrentar estos desafíos, adaptados a las circunstancias nacionales, el alcance de la liberalización del mercado y las características físicas de la energía en los hogares.

Para lograr una fuerte participación en los mercados energéticos, es fundamental proporcionar información adecuada a los consumidores vulnerables. La sensibilización sobre cómo aumentar la asequibilidad de los servicios energéticos también es importante, así como las campañas, para un mayor reconocimiento y comprensión de los problemas

de pobreza energética. Un desarrollo potencialmente importante es el despliegue de medidores inteligentes en todas las entidades federativas. Esto, sujeto a la protección de datos, ofrece la oportunidad para que los consumidores administren mejor su consumo, y a las empresas de energía para identificar consumidores vulnerables. A medida que la medición inteligente se convierta más en la norma, será importante compartir el aprendizaje sobre cómo esta tecnología puede ayudar a proteger al consumidor y mejorar la asequibilidad del uso de la energía.

Existe gran consenso sobre cómo la falta de acceso a las fuentes de energía modernas tiene importantes efectos en la pobreza, y que los hogares que carecen de acceso a la energía pueden quedar atrapados en un círculo vicioso de pobreza energética. Sin embargo, en la práctica, lograr el acceso universal parece una tarea difícil que requiere grandes inversiones, especialmente para garantizar el acceso a la electricidad. Así, en áreas rurales remotas donde la conexión a la red es inexistente, las tecnologías renovables fotovoltaicas podrían ofrecer soluciones para brindar servicios energéticos, aunque la energía eólica también podría ser una opción. En este marco, las políticas que promueven la adopción de tecnologías limpias podrían considerarse como los principales componentes de la agenda de reducción de la pobreza energética.

Llevar energía moderna a partes de la población (especialmente a los hogares más pobres en áreas remotas) requerirá inversiones que son desproporcionadamente altas en comparación con los beneficios económicos que generaría esta inversión. En las próximas décadas, una proporción significativa del mercado potencial de energía existirá sólo si el acceso a la energía está subsidiado, o si ciertos equipos se proporcionan de forma gratuita. Será necesario desarrollar políticas específicas para garantizar el acceso de las poblaciones más pobres.

Referencias

- Arellano, P. R. y Chapa, J. C. (2017), Efecto del precio de la electricidad en los hogares mexicanos con perspectiva de género y condición de pobreza, *Análisis Económico* 32(80): 69-92.
- Baltagi, B. H; Feng, Q. y Kao, C. (2012), A Lagrange Multiplier test for cross-sectional dependence in a fixed effects panel data model, *Journal of the Econometrics* 170: 164-177.
- Baltagi, B. H. y Pesaran, M. H. (2007), Heterogeneity and cross section dependence in panel data models: Theory and applications, *Journal of Applied Econometrics* 22: 229-242.
- Banerjee, A. (2014), *Global tracking framework. Sustainable energy for all*, Banco Mundial, Washington, DC.
- Belaïd, F. y Garcia, T. (2016), Understanding the spectrum of residential energysaving behaviours: French evidence using disaggregated data, *Energy Economics* 57: 204-214.
- Brounen, D.; Kok, N. y Quigley, J. M. (2012), Residential energy use and conservation: Economics and demographics, *European Economic Review* 56(5): 931-945.
- Breusch, T.S. y Pagan, A. R. (1980), The Langrange Multiplier test and its application to model specification in econometrics, *Review Economic Studies* 47(1): 237-243.
- Burdisso, T. (1997), Estimación de una función de costos para los bancos privados argentinos utilizando datos de panel, Documento de Trabajo núm. 3, Banco Central de la República Argentina, Argentina.
- Cayla, J. M.; Maizi, N. y Marchand, C. (2011), The role of income in energy consumption behaviour: Evidence from French household's data, *Energy Policy* 39: 74-83.
- CEPAL (2018), CEPALSTAT. Estadísticas e Indicadores de energía en América Latina. Disponible en <http://websie.eclac.cl/> (acceso 20 junio 2019).
- Choi, I. (2001), Unit root tests for panel data, *Journal of International Money Finance* 20(2): 249-272.
- Comisión Reguladora de Energía (2010), *Informe sobre consumo de energía en Méxi-*

- co, Ciudad de México, México.
- Darby, S. (2011), *Designing feedback into energy consumption*, Change Institute, University of Oxford, Inglaterra.
- Fatih, B. (2007), Energy Economics: A Place for Energy Poverty in the Agenda? *International Energy Agency*, 28:1-6.
- Foster, V. y Tre, J. (2014), *Measuring the Impact of Energy Interventions on the Poor: Illustration from Guatemala*, Public-Private Infrastructure Advisory Facility.
- Gertler, P.; Shelef, O.; Wolfram, C. y Fuchs, A. (2011), Poverty, growth and the demand for energy, Stanford University, Estados Unidos.
- Information Energy Administration (2010), Energy poverty. How to make modern energy access universal? Special early excerpt of the World Energy Outlook for the UN General Assembly on Millenium Development Goals.
- Kaygusuz, K. (2011), Energy services and energy poverty for sustainable rural development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 936-947.
- Lenzen, M.; Wier, M.; Cohen, C. *et al.* (2006), A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan, *Energy* 31: 181-207.
- Meikle, S. y Bannister, A. (2003), Energy, poverty and sustainable urban livelihoods, Documento de Trabajo núm. 126, Development Planning Unit, University College London, Inglaterra.
- Nazlioglu, S.; Lebe, F. y Kayhan, S. (2011), Nuclear energy consumption and economic growth in oecd countries: cross sectionally dependent heterogeneous panel causality analysis, *Energy Policy* 39(10): 615-621.
- Okwanya, I. y Abah, P. O. (2018), Impact of energy consumption on poverty reduction in Africa, *Journal of Applied Statistics* 9(1): 105-139.
- Ouedraogo, N. S. (2013b), Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model, *Energy* 63: 28-41.
- Pachauri, S. y Spreng, D. (2004), Energy use and energy access in relation to poverty, *Economic and Political Weekly* 39(3): 271-278.
- Pachauri, S. *et al.* (2012), Energy access for development, en IIASA (2012) *Global energy assessment*, International Institute for Applied Systems Analysis.
- Pesaran, M. H. (2004), General diagnostic tests for cross section dependence in pa-

- nels, Working Papers in Economics núm. 0435, Faculty of Economics, University of Cambridge, Cambridge, Inglaterra.
- Pesaran, M. H. (2007), A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence, *Journal of Applied Econometrics* 22: 265-312.
- Secretaría de Energía (2018), *Prospectiva de energías renovables 2017-2031*. Gobierno de México.
- Short, C. (2002), Energy for the poor: underpinning the millennium development goals. Issues Department for International Development.
- Solow, R. M. (1956), A contribution to the theory of economic growth, *The Quarterly Journal of Economics* 70(1): 65-94.
- Sovacool, B. J. (2012), The Political Economy of Energy Poverty: A Review of Key Challenges, *Energy for Sustainable Development* 16(3): 272-282.
- Swan, L. G. y Ugursal, V. I. (2009), Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, *Renewable and sustainable energy reviews* 13(8): 1819-1835.
- Zhou, S. y Teng, F. (2013), Estimation of urban residential electricity demand in china using household survey data, *Energy Policy* 61: 394-402.

CAPÍTULO 7

Análisis de la demanda y el efecto de las reformas estructurales en la industria de gas natural en México en el periodo 1995–2020

Ignacio Marcelino López Sandoval
Sergio Domínguez Reyna

En los últimos 25 años, en un contexto de liberalización económica y de intensos cambios tecnológicos, una gran cantidad de países han experimentado profundas transformaciones estructurales en sus economías. Industrias que eran por excelencia monopolios naturales, operados por empresas del Estado, se han transformado en industrias competitivas en manos de la iniciativa privada. Las reformas estructurales emprendidas en el sector de energía han sido los principales objetivos de reestructuración industrial y desregulación económica con la finalidad de aumentar la competitividad de los países a escala internacional.

Una de las reformas en la industria del gas natural, que permitió el marco de desarrollo de la industria, fue la de 1995, que planteó la apertura total al sector privado en la distribución, transporte y almacenamiento de gas natural; eliminando el monopolio de Pemex en estas actividades. El resultado fue una combinación de estructuras monopolísticas en la producción y actividades potencialmente competitivas en el transporte y distribución.

En los años posteriores, los cambios regulatorios se enfocaron en mejorar el esquema de comercialización a través de los precios de Venta de Primera Mano (VPM) que se ofrecían al interior del país, considerando la capacidad de abastecimiento y la demanda solicitada en cada región. Fue así como el Ejecutivo Federal estableció que en el 2005 se experimentaría una disminución en los aranceles en la importación de gas natural y se fijaría un arancel exento a las importaciones de gas licuado de petróleo, medida en respuesta a la necesidad de promover la competitividad comercial del país en materia energética.

En el periodo 2006-2012, no se realizaron cambios estructurales en el sector. Pero, los cambios regulatorios permitieron que la Comisión Reguladora de Energía (CRE) continuara el proceso de análisis y adecuación de diversos instrumentos de regulación aplicables a las VPM, a efecto de establecer una regulación congruente con las condiciones dinámicas del mercado. El Decreto de Reformas a la Ley de la CRE, publicado en noviembre de 2008 en el Diario Oficial de la Federación (DOF), amplió las atribuciones en lo relativo a la regulación económica del sector hidrocarburos. Durante 2009 la CRE desarrolló un proyecto de adecuaciones al Reglamento de Gas Natural para actualizar dicho instrumento regulatorio a las condiciones y características de la industria del gas natural, dado que este reglamento operaba desde 1995.

En el sexenio del presidente Enrique Peña Nieto, se ubicó el segundo periodo de grandes reformas estructurales en el sector del gas natural. En la Reforma Energética de 2013 se realizaron modificaciones a los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política para acelerar el crecimiento y eliminar barreras tecnológicas y financieras que detenían el desarrollo del sector. Con los cambios en el artículo 28 Constitucional se eliminó la petroquímica básica como una actividad reservada al Estado, y con dicha modificación se abrió la posibilidad de que tanto Pemex como particulares pudieran participar en actividades de procesamiento de gas natural; se creó el Centro Nacional de Control de Gas Natural (CENAGAS), un organismo público descentralizado encargado de administrar, coordinar y gestionar de forma eficiente la red de ductos y el almacenamiento de gas natural en el país. La CRE también reforzó sus facultades para otorgar los permisos para el almacenamiento, transporte y distribución de gas natural, y garantizar el acceso abierto y en igualdad de circunstancias a la utilización de la infraestructura de transporte por ductos y almacenamiento de hidrocarburos y de sus derivados. De igual forma, sus atribuciones le permitirían emitir la regulación de las Ventas de Primera Mano del gas natural en tanto no existiera competencia efectiva.

El gas natural es considerado en nuestros días como una de las principales fuentes de energía internacional, registrando tasas de crecimiento en el consumo superiores a las del petróleo. Se prevé que el número de habitantes del planeta aumentará en mil millones para 2030, por lo que el gas natural es una de las pocas fuentes de energía que puede satisfacer la creciente demanda y reducir al mismo tiempo las emisiones de la generación de electricidad, la industria, el entorno construido y el transporte ([Royal Dutch Shell, 2015](#)).

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto de los cambios estructurales sobre la demanda y la estructura de mercado de gas natural mediante un análisis de los posibles efectos en la demanda nacional en función de las elasticidades. En el primer apartado se contempla una descripción de la industria y mercado de gas natural con el fin de determinar algunas de las variables más importantes que influyen en la demanda de gas natural; variables utilizadas en el diseño del modelo econométrico para obtener la función de demanda. En el segundo apartado se realiza una descripción de los principales cambios en el sector energético establecidos en las reformas estructurales que sucedieron en el periodo bajo análisis, mencionando los principales objetivos para el sector del gas natural en dichas reformas. En el tercer apartado, con base en el planteamiento de un modelo teórico, se estima la función de demanda y la elasticidad precio de la demanda, ingreso y cruzada a nivel nacional. En este apartado se establecen los elementos econométricos y estadísticos necesarios para establecer si los cambios estructurales fueron significativos en la demanda de gas natural. También, se presenta una revisión de estudios empíricos sobre elasticidades de la demanda en el sector de energía y en la industria del gas natural, con la finalidad de tener un patrón de referencia teórica, metodológica y de resultados.

Descripción del mercado de gas natural en México, 1990-2020

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos simples que existe en estado gaseoso a condiciones normales de presión y temperatura. El gas natural comercial está compuesto en un 95% o más de metano y el 5% restante lo conforman una mezcla de etano, propano y otros

componentes más pesados. Al momento de su extracción, el gas natural contiene impurezas como agua, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y nitrógeno que tienen que ser removidas previo a su transporte y comercialización.

En México la calidad del gas natural está establecida formalmente en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SECRE-2010, emitida de manera conjunta por la Secretaría de Energía y la Comisión Reguladora de Energía, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de marzo de 2010.

El gas natural se encuentra generalmente en depósitos subterráneos profundos formados por roca porosa o en los domos de los depósitos naturales de petróleo. Dependiendo de su origen, el gas natural se clasifica en dos tipos:

- Gas asociado: Es el gas que se extrae junto con el petróleo y contiene grandes cantidades de hidrocarburos que son susceptibles de licuarse como etano, propano, butano y naftas. Estos hidrocarburos se separan del gas natural mediante un proceso que se lleva a cabo en las plantas criogénicas o en las plantas de absorción y separados.
- Gas no asociado: Es el que se encuentra en depósitos que contienen únicamente este combustible. También se le conoce como gas seco de campos.

A finales del año 2018, la producción de gas natural asociado fue de 3,804.77 millones de pies cúbicos diarios (mmpcd), mientras que la producción de gas natural no asociado alcanzó los 1,042.11 mmpcd. El gas natural se transporta en ductos de acero de diámetros variables a grandes distancias, accionado por las estaciones de compresión que para ese fin se instalan a lo largo del recorrido.

Los ductos que transportan el gas natural son diseñados y contruidos bajo las más estrictas especificaciones técnicas y se someten a programas de mantenimiento preventivo que reducen la posibilidad de accidentes. Los gasoductos se operan a presiones mucho menores que las presiones máximas que son capaces de soportar de acuerdo con su diseño mecánico y, en áreas con grandes concentraciones de población, se operan a menos de la mitad de sus presiones de diseño.

No obstante, se debe aclarar que el gas natural no es un bien durable, es decir, un bien que pueda ser disfrutado repetidamente a lo largo del tiempo o que pueda ser almacenado para usos futuros.¹ El consumo de gas, al menos en el sector doméstico y residencial, está relacionado y controlado por la cantidad y el tipo de aparatos de gas. Una vez que un aparato de gas es instalado, hay poca o ninguna sustitución entre diferentes tipos de combustibles. Una de las características más importantes del gas natural, es el hecho de que existen sustitutos² para casi todos sus usos técnicamente posibles.

Los factores más importantes que han influido en los cambios en la estructura de la demanda de energía han sido los cambios tecnológicos, los drásticos cambios del precio del petróleo de los años 70 y los cambios en la estructura del gasto familiar, modificando especialmente el sector manufacturero mediante una sustitución de carbón y petróleo por gas natural (Miyata, 1987).

Los cambios de combustible por factores tecnológicos han involucrado costos de inversión y de oportunidad que se reflejan en la

¹ Almacenamiento para futuros usos, se refiere a periodos de tiempo de largo plazo como en los bienes durables (Balestra y Nerlove, 1996).

² Sustitutos en el periodo de planeación.

necesidad de construir infraestructura básica como ductos de abasto y distribución de gas natural hacia las plantas. Esta es la principal desventaja del gas, que se relaciona con enormes inversiones requeridas para transportar y conducir este recurso energético.

A raíz de la Reforma Energética del 2014, se estableció un programa de desarrollo de gasoductos, con el objeto de cubrir la mayor parte de las zonas generadoras de energía de gas natural y de las regiones manufactureras del país, ya que el transporte por gasoducto es la manera más eficiente de conducir este combustible a gran escala ([Secretaría de Energía, 2018](#)).

Demanda, oferta y precios del gas natural en México

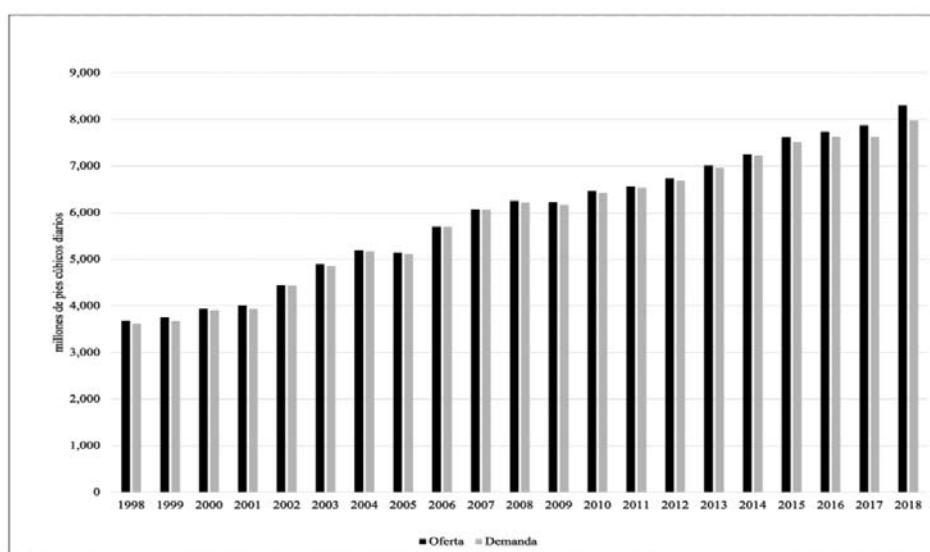
En el periodo 1998-2018, la demanda nacional de gas natural se incrementó 121%, pasando de 3,617.1 mmpcd a 7,977.35 mmpcd, el aumento en el consumo de este energético se atribuyó principalmente al sector eléctrico asociado al cambio tecnológico que ha privilegiado la generación de electricidad mediante las plantas de ciclo combinado.

La estructura de la demanda nacional de gas natural se compone de cuatro sectores consumidores:

1. El sector eléctrico, integrado por el consumo en plantas de generación eléctrica, propiedad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).
2. El sector petrolero, representado por el consumo de Pemex como empresas productivas del estado, subdividido en tres segmentos.
3. El sector industrial, integrado principalmente por empresas manufactureras y extractivas como la minería, siderurgia, química, etcétera.

4. Sector residencial, comercial y autotransporte, que comprende el consumo de los hogares, de empresas comerciales y vehículos.

Figura 1
Oferta y demanda de gas natural en México: 1998-2018



Fuente: elaboración con información de la Secretaría de Energía.

En la última década, el sector industrial ha aumentado el consumo de gas natural en 54.2%, debido a las ventajas competitivas que este energético tiene frente a otros combustibles como el combustóleo, diésel y carbón, mientras que el sector petrolero ha mantenido una demanda con poca variación y presentó una disminución de 5.3% en los últimos diez años.

Los sectores residenciales, servicios y autotransporte son los de menor consumo. El incremento en éstos se asocia al acceso y al desarrollo de la infraestructura de transporte del combustible. El crecimiento

del sector residencial ha sido de 2%, en el sector servicios de 44.6%, mientras que en el sector de autotransporte ha duplicado la demanda en la última década, pasando de 1.9 mmpcd a 5.6 mmpcd.

En 2010 México registró su producción máxima de gas natural con 5,003 mmpcd.³ Durante los últimos veinte años ha predominado la producción de gas asociado al crudo. Si bien la producción de crudo comenzó a disminuir a partir de 2005, se observó un aumento sustancial de la relación gas/aceite, atribuible a yacimientos de gas asociado. En el periodo 2006-2012 los descubrimientos de nuevos campos aportaron muy poco a la expansión y a las reservas probadas de gas natural. Esta situación se volvió preocupante, debido al rápido agotamiento de las reservas probadas de gas no-asociado y de la posible declinación del volumen producido, que se estima de alrededor del 11%.

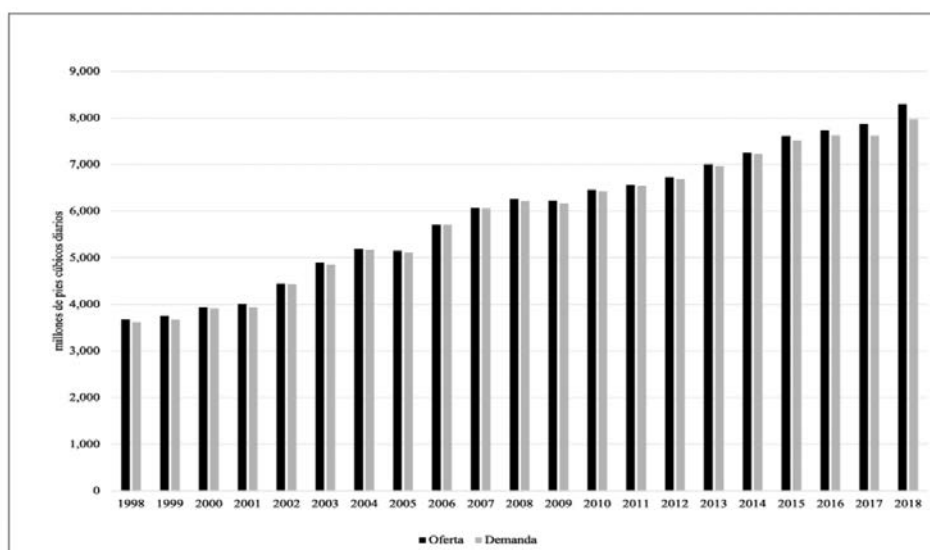
Esta caída en la producción es consecuencia de una disminución en la extracción de gas no asociado, principalmente en las cuencas de Veracruz a partir del 2007 y de Burgos en 2009, situación que se mantiene hasta ahora. En la Región Sur se requerirá un esfuerzo exitoso para sostener el volumen de extracción. Con respecto a la Región Marina Noreste, es complicado establecer un pronóstico de incremento en la producción, ante las fluctuaciones erráticas en los últimos ocho años en el complejo Cantarell. La Región Marina Suroeste aumentará la producción si la extracción en el Litoral de Tabasco logra compensar la disminución previsible en el activo Abkatún-Pol-Chuc.

En los últimos años, la relativa estabilidad de esta región puede atribuirse a la expansión de los campos May, Sinán, Bolontikú e Ixtal. Todos ellos han alcanzado, o están por alcanzar, sus niveles máximos

³ Cifra que considera sólo gas hidrocarburo, sin incluir nitrógeno y CO₂.

de producción. Por otra parte, los pronósticos de producción de gas de Chicontepec para este periodo son poco confiables. Así, en el mediano plazo, la producción de gas no asociado tendrá que ser compensada con mayor producción del Litoral de Tabasco y de Chicontepec (Lajous, 2012).

Figura 2
Oferta total de gas natural en México: 1998-2018



Fuente: elaborada con datos de Pemex y la Secretaría de Energía.

En las últimas dos administraciones, la estrategia energética planteada por la Secretaría de Energía señala que para revertir la caída en la producción de gas natural, se debería buscar nuevas extracciones en campos aún no descubiertos, ubicados en aguas profundas y en yacimientos de gas no-convencional. Esta situación desafortunada, ha convertido a México en un importador neto de gas natural, situación

que difícilmente se modificará en los próximos años. La demanda sigue creciendo a un ritmo mayor que la producción interna y el diferencial continúa ampliándose. Las importaciones netas de gas natural se mantendrán con una tasa de crecimiento anual de alrededor de 18% durante los próximos años.

Con relación a los precios, a diferencia del petróleo, no existe un mercado mundial que determine el precio del gas natural; la principal razón es que los mercados están regionalizados debido a las distancias geográficas y a los altos costos de transporte. Esta regionalización ha respondido al proceso de globalización de la economía mundial.

Los precios del gas natural se caracterizan por registrar un comportamiento estacional, precios altos en invierno y bajos en verano. Esta estacionalidad en el ámbito mundial ha fomentado la utilización de los mercados financieros –mediante contratos de cobertura– para reducir los riesgos derivados de las fluctuaciones.

En Estados Unidos y Canadá, la competencia del mercado determina los precios del gas, por lo que los cambios de corto plazo entre la oferta y la demanda se reflejan de manera rápida.

Asimismo, otro factor importante que interviene en los precios del gas natural es el precio de combustibles alternos, como el carbón y el combustóleo; en algunos casos el carbón constituye un piso, y el combustóleo un techo, éste último puede frenar la tendencia del alza del precio del gas natural debido a la sustitución entre ambos combustibles a corto plazo.

Para el caso de México, desde 1995 y hasta junio de 2017, el establecimiento del precio del gas natural se realizaba bajo un esquema administrado, es decir, la política de precios de dichos bienes obedecía más a criterios de ingresos del sector público que a razones de com-

petitividad en los mercados nacional e internacional. Durante dicho periodo es posible identificar cambios significativos.

De 1995 a 2009, el precio máximo del gas natural objeto de las ventas de primera mano eran fijados conforme a lo establecido en las directivas expedidas por la CRE. La metodología para su cálculo debía reflejar los costos de oportunidad y condiciones de competitividad del gas respecto al mercado internacional y al lugar donde se realizará la venta. Es así como el precio al público del Gas Natural se calculaba mensualmente para cada una de las zonas de transporte definidas por la CRE, integrando los siguientes conceptos: i) El precio de referencia (como gas combustible); ii) La tarifa de transporte de la zona donde se localiza el cliente; iii) El costo del servicio de acuerdo al tipo de contrato firmado con Pemex Gas-Petroquímica Básica; y iv) El Impuesto al Valor Agregado (IVA).

El precio de referencia era el concepto más importante en la determinación del costo al público. Los precios de referencia para el gas natural en México se determinaban con base en el punto de interconexión fronterizos por donde ingresaba el hidrocarburo.

En la Reforma Energética del 2008, de acuerdo con lo señalado en el artículo 2 de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía, ésta tendría por objeto promover el desarrollo eficiente de diferentes actividades del sector energético del país, entre ellas, las Ventas de Primera Mano (VPM) del gas, del combustóleo y de los petroquímicos básicos. Por VPM se entendía la primera enajenación que Petróleos Mexicanos y sus subsidiarios realizaban en territorio nacional a un tercero ([Secretaría de Energía, 2018](#)).

A partir de agosto de 2009 se comenzó a aplicar la “Directiva sobre la determinación de los precios máximos de gas natural objeto de

Venta de Primera Mano” (DIR-GAS-001-2009). En general, dicho precio correspondía al índice Henry Hub ajustado por el diferencial respecto de las referencias en el sur de Texas y afectado, en su caso, por el mecanismo de sustitución a que se refiere la propia directiva.

Hasta julio de 2009 estuvo vigente la Directiva sobre la determinación de precios y tarifas para las actividades reguladas en materia de gas natural (DIR-GAS-001-1996).

Acorde con la Directiva sobre la determinación de tarifas y el traslado de precios para las actividades reguladas en materia de gas natural (DIR-GAS-001-2007), se estructuraron los precios al público que ofrecían los distribuidores en cada uno de los sectores de consumo. En este sentido, los componentes fueron básicamente el precio máximo de adquisición (PMA) y las tarifas máximas de distribución.

En estos años, el PMA representó el precio máximo que los distribuidores podían transferir a los usuarios por concepto de adquisición del gas, como parte del servicio de distribución con comercialización.

Por otro lado, las tarifas máximas para el servicio de distribución se integraron de los cargos máximos por capacidad y por uso. El cargo por capacidad tuvo como finalidad recuperar los costos fijos que formaban parte del requerimiento de ingresos asignado al grupo tarifario que correspondía y representaba la contraprestación a pagar, por la capacidad reservada por el usuario en el sistema para satisfacer su demanda en un periodo determinado, expresada en pesos por unidad. En tanto, el cargo por uso tuvo el objetivo de permitir la recuperación de costos variables que formaban parte del requerimiento de ingresos correspondiente al grupo tarifario respectivo y representaba la contraprestación a pagar por el uso del sistema, calculada con base en la cantidad de gas conducida a cuenta del usuario, expresado en pesos

por unidad. Considerando estos elementos, en cada zona geográfica de distribución, las compañías distribuidoras aplicaron bajo criterios particulares, con base en la autorización de la CRE, cargos específicos por distribución, por tipo de cliente, servicio y rango de consumos.

A partir del 17 de junio de 2017, la CRE suspendió la publicación del precio máximo de VPM de gas natural y determinó que el precio al que la Empresa Productiva del Estado Petróleos Mexicanos realizaría VPM de gas natural se determinaría mediante condiciones de mercado, a partir de ello la CRE determinó la conveniencia de generar y publicar un Índice de Referencia Nacional de Precios de Gas Natural al mayorero (IPGN), el cual refleja los precios de las transacciones realizadas libremente por los comercializadores del mercado.

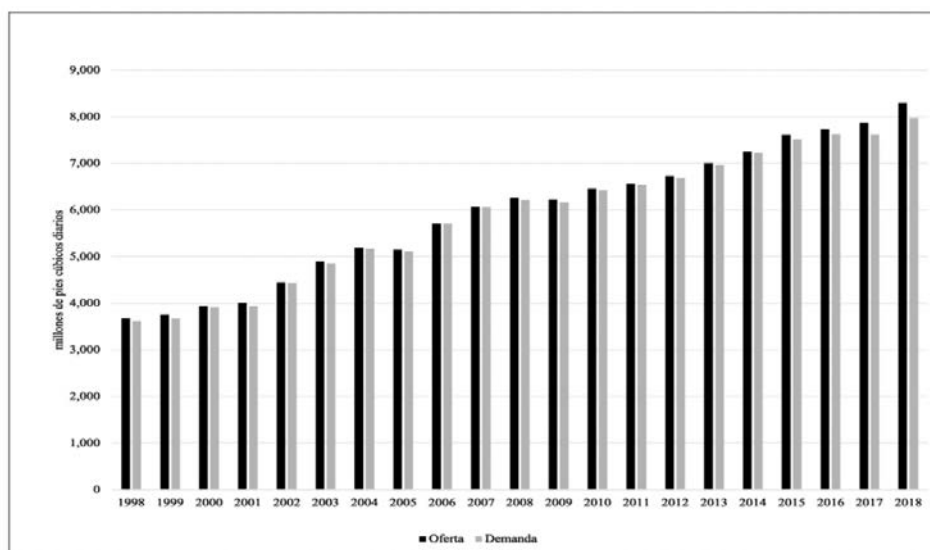
Derivado de lo anterior, el 17 de agosto de 2017 se aprobó por parte de la CRE, la metodología para calcular cada mes el IPGN, el cual se construye con el precio promedio de las transacciones en el mercado mexicano.

Para la publicación de los IPGN, el país se dividió en seis regiones que fueron identificadas a partir de los siguientes elementos: los patrones de oferta, las características de la infraestructura del mercado de gas natural, las zonas tarifarias, los flujos SISTRANGAS, los proyectos actuales de interconexión y de transporte, así como los precios y volúmenes de comercialización en cada entidad federativa.

Los bajos precios del gas natural en Norteamérica, incluidos los de México que están directamente ligados a los del sur de Texas, y las expectativas de que se mantendrán bajos por algún tiempo; reflejan el cambio ocasionado por el aumento en Estados Unidos de la producción de gas no convencional. En poco tiempo este cambio ha llevado a Norteamérica de un déficit estructural de gas a una posición más

balanceada y a una perspectiva en la que podrán prevalecer condiciones de oferta excedente. Los bajos precios han aumentado la demanda de corto plazo, particularmente en los sectores industrial y eléctrico, a pesar de la débil recuperación económica. También se espera que en algún momento la demanda de gas para transporte se expanda, al igual que la demanda de la industria petroquímica, que hace uso intensivo del gas natural y del etano ([Lajous, 2012](#)).

Figura 3
Evolución del precio promedio del gas natural, 1970-2017
(pesos/m³)



Fuente: elaborada con datos de Pemex y la Secretaría de Energía.

Reformas y regulación de la industria natural de gas, 1990-2020

La reestructuración de la industria de gas natural surgió de la necesidad de incrementar la producción y los sistemas de transporte y distribución que tuvieron una drástica caída y estancamiento en los años 80 y 90, por las grandes restricciones de capital que enfrentó el programa de inversión de Pemex.

En 1995 se instrumentaron cambios importantes en el marco legal y regulatorio de la industria del gas natural. La reforma a la ley reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, redefinió el alcance de la industria petrolera estatal, permitiendo que los particulares construyeran, operaran y mantuvieran en propiedad sistemas de transporte, almacenamiento y distribución, dando como resultado la combinación de una estructura monopólica en la producción y actividades potencialmente competitivas de transporte y distribución. Para llevar a cabo esta apertura fue necesario crear las reglas básicas para el funcionamiento de esta industria, y crear las instituciones responsables de su cumplimiento.

El 31 de octubre de 1995 se expidió la Ley de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), que amplió el ámbito de acción y las atribuciones de la CRE, las cuales se limitaban a tareas de consulta en la industria eléctrica. El 8 de noviembre de 1995 se expidió el Reglamento de Gas Natural, que establecía los principios básicos de regulación y marcaba las disposiciones que normaban tanto la participación de Petróleos Mexicanos como de los particulares en la industria.

A fin de incentivar el desarrollo de la distribución de gas natural en el país, se determinaron nuevas zonas geográficas de distribución por

la CRE. La regla era que el primer permiso de distribución para una zona geográfica se otorgaría mediante licitación pública, confiriendo una exclusividad de doce años sobre la construcción del sistema de distribución y la recepción, conducción y entrega de gas dentro de la zona geográfica.

De acuerdo con la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional, la distribución no era una actividad prioritaria del Estado, por lo cual el Gobierno decidió desincorporar las empresas distribuidoras propiedad de PGPB y de CFE, así como los ductos de distribución propiedad de PGPB, localizados en las zonas geográficas de distribución.

En el transporte de gas natural, además de Pemex, se permitió participar a empresas privadas quienes, previó permiso, podrían construir, operar y mantener sistemas de transporte. Pemex, a través de su filial PGPB, participaría en la industria del gas natural como un permisionario transportista más, sujeto a regulación, y continuaría operando y manteniendo el sistema nacional de ductos.

En 2014, el cambio derivado de las modificaciones constitucionales trajo consigo la creación de leyes, reglas y normas totalmente nuevas y la modificación de otras existentes que han permitido impulsar a la industria de los hidrocarburos hacia la modernización. Antes del cambio, las actividades estratégicas del sector estaban reservadas al Estado por conducto de Pemex, con las modificaciones, en el nuevo modelo del sector energético se consideró un alto grado de apertura a la participación privada en todos los segmentos de la cadena de valor, con el objetivo de sentar las bases para el desarrollo de mercados eficientes y competitivos.

Dentro de las leyes que involucran los cambios estructurales en el sector del gas natural se encuentra la Ley de Hidrocarburos, que

tiene por objeto regular las actividades que integran a la cadena de valor de los hidrocarburos. Se ampliaron las facultades y atribuciones a diversos organismos reguladores:

- La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) regula de manera eficiente y confiable la exploración y extracción de hidrocarburos en México para propiciar la inversión y el crecimiento.
- La Secretaría de Energía tendría la atribución de regular y supervisar, así como otorgar, modificar y revocar los permisos para las actividades de tratamiento y refinación de petróleo; procesamiento de gas natural, así como la exportación e importación de hidrocarburos y petrolíferos en términos de la Ley de Comercio Exterior.
- A la Comisión Reguladora de Energía se le asignó la regulación y supervisión, así como el otorgar, modificar y revocar los permisos para el transporte y almacenamiento de hidrocarburos; la distribución de gas natural, regasificación, licuefacción, compresión y descompresión de gas natural; asimismo, la gestión de los sistemas integrados, incluyendo el Sistema de Transporte de Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural (SISTRANGAS).
- La Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente (ASEA), encargada de regular y supervisar en materia de seguridad industrial, operativa y de protección al medio ambiente, las instalaciones y actividades del sector hidrocarburos.

Como parte de los objetivos de la Reforma Energética, se dio apertura para la participación de la inversión privada en la cadena de valor de gas natural, la cual involucra actividades que van desde la exploración, extracción y producción del hidrocarburo, hasta su comer-

cialización al usuario final, pasando por el procesamiento, transporte, almacenamiento y distribución.

Durante el periodo 2014-2018, los aportes registrados en la cadena de valor de gas natural, derivados de la reforma fueron ([Secretaría de Energía, 2018](#)):

- En materia de exploración y extracción, se han llevado a cabo nueve procesos de licitación pública que han adjudicado 104 bloques contractuales en territorio nacional con una superficie total de 87,079 km².
- En cuanto al procesamiento de gas natural, se encuentran vigentes nueve permisos asignados a Complejos Procesadores de Gas (CPG), y suman una capacidad de endulzamiento⁴ de gas de 4,503 mmpcd, y una capacidad de proceso criogénico de 5,912 mmpcd ([Gobierno de México, 2017](#)).
- Sobre el transporte de gas natural, se creó el Centro Nacional de Control del Gas Natural (CENAGAS), que realiza la función de gestor del Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural (SISTRANGAS), y también actúa como transportista de gas natural, operando y manteniendo ductos propios. En la revisión anual al Plan Quinquenal de Expansión del SISTRANGAS 2015-2019, se evaluó la viabilidad técnica de cinco interconexiones de este sistema con gasoductos particulares.
- En cuanto a la distribución de gas natural se observan cambios importantes a raíz de la aprobación e implementación de la reforma energética. Previo a la reforma, la CRE otorgaba permisos de

⁴ Consiste en remover los contaminantes, H₂S y CO₂ del gas húmedo amargo recibido de los pozos productores.

- distribución de gas natural por medio de ductos para una zona geográfica específica, derivado de esto se determinaron 30 zonas geográficas con fines de distribución de distintos tipos; dicho esquema cubría de manera parcial el territorio nacional y retrasaban el acceso y desarrollo de redes para un servicio oportuno. En diciembre de 2017, se aprobó un acuerdo para determinar al territorio nacional como zona geográfica única para fines de distribución de gas natural. Con dicha medida, los permisionarios que operan en zonas exclusivas en determinada zona geográfica, en el corto plazo deberían incorporarse a la red de distribución y valorar la opción de ofrecer el servicio en otras zonas del país.
- Sobre el almacenamiento de gas natural, derivado de la reforma, la SENER publicó la Política Pública en Materia de Almacenamiento de Gas Natural, que planteó el objetivo de establecer los incentivos para que el país contara con inventarios operativos y estratégicos que constituyeran la base de la garantía de suministro del gas natural, el aprovechamiento eficiente de la infraestructura existente y el desarrollo de nueva infraestructura.
 - En materia de comercialización, con la intención de incentivar la entrada de nuevos participantes en el mercado de gas natural, se implementó una regulación asimétrica a Pemex, mediante las Resoluciones RES/997/2015 y RES/048/2017, la cual instrumentó un programa de cesión gradual de contratos de comercialización para que en un plazo de cuatro años la empresa productiva del estado pusiera a disposición de terceros comercializadores la cesión de la parte de su cartera de contratos que representan el 70% del total del volumen de gas natural asociado a sus actividades de comercialización. El Programa de Cesión de Contratos

(PCC)⁵ constituyó un elemento apropiado para alcanzar uno de los objetivos fundamentales de la Reforma Energética, promover el desarrollo de un mercado eficiente y competitivo de gas natural, toda vez que se establecerían condiciones equitativas para que Pemex participara en igualdad de circunstancias junto con otros agentes económicos en la comercialización de gas natural.

La demanda y las elasticidades de gas natural en México, 1991-2020

Estudios empíricos de medición de las elasticidades en el sector energía

En realidad, no existe un solo valor para la elasticidad de la demanda de energía por lo que, en teoría, cada fuente de energía tendrá su propia curva de demanda. Sin embargo, muchos especialistas de la energía prefieren hablar de la elasticidad compuesta, la cual se basa en algún tipo de demanda agregada ([Kaplan, 1983](#)).

Los investigadores también distinguen entre elasticidades de energía de corto y de largo plazo, asumiendo que toma tiempo al consumidor ajustarse completamente a cambios en los precios. El valor de la elasticidad de corto plazo para energía es, en general, menor que la elasticidad de largo plazo. Las elasticidades de energía de largo plazo han sido estimadas a través de modelos dinámicos de series de tiempo

⁵ Al mes de septiembre de 2017, Pemex había cedido 32.16% del total del volumen de su cartera de comercialización de gas natural. Del volumen total cedido se observó que el sector eléctrico tuvo mayor participación en los contratos cedidos, seguido del sector industrial.

para países individuales, modelos de corte transversal para países y modelos agregados de paneles de datos. Las diferencias entre las estimaciones producidas por los diferentes tipos de procedimientos son significativas y se menciona que los estudios de corte transversal proveen mejores estimadores de largo plazo que los de series de tiempo ([Hashom y Smith, 1993](#)).

Otra distinción que se hace, es la de medir la elasticidad de la demanda intermedia de energía con precios de uso final y con precios de los insumos de energía primaria. Durante la década de los 70s, los cambios en el precio (en porcentaje) de los combustibles primarios, como el petróleo crudo, fueron más grandes que los cambios (en porcentaje) en los precios de formas de energía de distribución como la electricidad. La elasticidad precio de la demanda de largo plazo en varios estudios, fue de 0.25 a 0.5, para los precios de energía primaria prevalecientes en el periodo 1975-1980; y una elasticidad 0.7 a 1.20 en los precios de energía de distribución, mientras que las elasticidades ingreso de la demanda variaron entre 0.75 y 1 ([Kaplan, 1983](#)).

Dahl (1992) después de un reconocimiento de 50 estudios econométricos de demanda de energía en países en vías de desarrollo llega a la conclusión de que la demanda de energía a nivel países responde al precio y al ingreso. Las respuestas son más frecuentes en la región inelástica de la función de demanda, para el precio, y en la elástica, para el ingreso. Existen variaciones en las elasticidades entre los tipos de modelos translog, tobit, y los modelos de sistemas de gasto lineal, los cuales toman en cuenta la sustitución entre bienes y muestran una elasticidad precio mayor que otro tipo de modelos. Sin embargo, los resultados pueden cambiar de forma drástica con el mismo conjunto de datos entre un modelo estático y un modelo endógeno con rezagos

(dinámico), con cambios que tienden a ser mayores para el precio que para el ingreso. Además, al omitir el precio del modelo estimado, es frecuente incrementar la elasticidad ingreso.

En los países en desarrollo, la demanda de energía industrial puede tener elasticidades similares a la demanda de energía total. La demanda residencial puede ser más elástica en el ingreso, lo que sugeriría un cambio de uso familiar a comercial cuando el ingreso crece.

La demanda de petróleo puede ser menos elástica en el precio que en el ingreso, comparado con la demanda de energía global, lo que indicaría un cambio de petróleo y otros productos.

Comparando el resumen estadístico de los países en desarrollo con el mundo industrializado, no se encontró una clara evidencia de que la demanda de los países en desarrollo sea menos elástica al precio y más elástica al ingreso que la de los países industrializados. Sin embargo, la demanda de energía industrial puede ser más elástica al ingreso en el mundo en desarrollo, mientras que la demanda del petróleo es más elástica al precio y al ingreso en el mundo industrial. Se sugiere que las elasticidades promedio de largo plazo para energía son -0.54 y 1.19 para el precio y el ingreso, respectivamente, y para el petróleo son menos elásticos en -0.3 y algo superior a 1 ([Dahl, 1992](#)). La demanda de combustible para transportes en el mundo en desarrollo tiende a ser inelástica en el precio, pero más elástica que en el mundo industrial.

En el caso específico del gas natural, [Dahl \(1992\)](#) encontró 16 estimaciones de demanda y una estimación que combina gas natural y electricidad. La mayoría de las estimaciones fueron hechas en términos per cápita para países del sur de Europa, principalmente modelos estáticos ([Dahl y Boyd, 1985](#)) y modelos dinámicos ([Dahl y Fields, 1985](#)).

En dos estimaciones en la demanda total de gas natural ([Al-Sahlawi y Boy, 1987](#)), el resultado es alto para la elasticidad precio e ingreso de largo plazo. Y en tres estimaciones de demanda industrial para gas natural. [Mahmud y Chishti \(1990\)](#), usando un modelo traslog que incluyó carbón, no encontraron una respuesta significativa para el precio en Pakistán. [Iaqbal \(1986\)](#), por su parte, reportó una pequeña pero muy significativa respuesta del precio, mediante un modelo traslog para carbón, petróleo, gas y electricidad para Pakistán. Esta elasticidad precio resultó similar a la obtenida por [Otero \(1984\)](#) quien, en un modelo estático, reportó la única elasticidad ingreso (1.9). Aunque el gas natural es el más inelástico de los combustibles de uso industrial, la diferencia fue sólo significativa para el combustible fósil.

[Liang \(1985\)](#), en un estudio de demanda de gas natural para industrias específicas en Taiwán, encontró una elasticidad precio de -11.88 y -2.98 para la agricultura en 1971 y 1981 respectivamente. Establece también que la demanda de gas natural es elástica en promedio, pero con una amplia varianza entre industrias. Ninguna es tan baja como la estimación promedio para Pakistán y Colombia de -0.2. En la demanda de gas natural de las empresas de servicios públicos se detectó que es menos elástica, -0.61. El transporte y exploración minera tienen elasticidades cercanas a -1, mientras que la agricultura y la industria tienen elasticidades mayores de 2 en valor absoluto. La elasticidad de conjunto para las industrias fue de -1.54. La elasticidad precio de gas natural para la industria individual fue también más elástica que la demanda de combustible fósil, electricidad, petróleo y la demanda total de energía. Sin embargo, no existen diferencias entre la elasticidad de la demanda entre el carbón y la de gas natural para la industria individual ([Liang, 1985](#)).

Modelo teórico de demanda de gas natural

La función de demanda de gas natural se determina con el análisis de la utilidad estándar y los componentes industriales y no industriales.

La utilidad de los consumidores está en función de la cantidad consumida de petróleo, gas natural, carbón y un bien compuesto X :

$$U = U(O, G, C, X)$$

Si los consumidores están maximizando su función de utilidad sujeta a una restricción presupuestal, entonces la función es:

$$L = U(O, G, C, X) + \lambda(I - P_0O - P_GG - P_C C - P_X X)$$

maximizada con respecto al petróleo (O), gas natural (G), carbón (C), y X , donde P es el precio e I el ingreso disponible; se obtienen las condiciones de primer orden en un sistema de ecuaciones. La solución permite obtener la demanda para cada tipo de combustible como una función de su propio precio, de los precios cruzados y del ingreso. P_X se representa empíricamente por el índice de precios al consumidor y es usado para deflactar el precio del petróleo, gas natural, el carbón e ingreso. Los modelos de flujo dinámico empleados por [Balestra y Nerlove \(1996\)](#), [Dahl \(1994\)](#), [Chamberlain \(1974\)](#) y [Kenned \(1974\)](#) para estimar la demanda de algún tipo de energía se resumen en:

$$\begin{aligned} \ln q_{kt} = & \alpha_1 + \alpha_2 \ln P_{Gt} + \alpha_3 \ln P_{Gt} + \alpha_4 \ln P_{Ct} + \alpha_5 \ln PIB_{Rt} \\ & + \alpha_6 \ln q_{k(t-1)} + U_t \end{aligned}$$

Esta ecuación es bastante general y apropiada para datos agregados ([Al-Sahlawi y Boy, 1987](#)). Los coeficientes α_2 , α_3 , α_4 , α_5 de la

ecuación son las elasticidades estimadas de corto plazo mientras que $\alpha_2/(1 - \alpha_6)$, $\alpha_3/(1 - \alpha_6)$, $\alpha_4/(1 - \alpha_6)$ y $\alpha_5/(1 - \alpha_6)$ son estimaciones para las elasticidades de largo plazo.

[Balestra y Nerlove \(1996\)](#) proponen un modelo dinámico de la demanda de gas natural. Se incluye la demanda en un nuevo mercado de gas, es decir, la demanda incremental para gas (demanda debido a la sustitución de aparatos de gas y la demanda por el incremento neto del stock de estos aparatos). Este enfoque indica que no es muy realista asumir que la elección del consumidor es determinada a la manera tradicional de los modelos estáticos.

En el mercado de gas, por ejemplo, un cambio en el corto plazo en el precio relativo del gas no induce a muchos consumidores a revisar sus elecciones una vez hechas, por lo que el alto costo de transferencia incluye el cambio a diferentes tipos de combustibles. Específicamente, una vez que un aparato mayor es instalado, hay poca o ninguna sustitución entre diferentes tipos de combustibles por lo que la demanda para calefacción de espacios es probablemente muy inelástica, y se esperaría una elasticidad precio de la demanda de corto plazo muy baja para los consumidores de gas.

En la etapa de planeación, por otra parte, el precio relativo de los diferentes combustibles tiene algún efecto en el proceso de decisión y, al menos en esta etapa, deberíamos observar un patrón de comportamiento acorde con la teoría tradicional de la demanda. La función de demanda entonces debe ser considerada en un sentido ex-ante.

De acuerdo con lo anterior y retomando el modelo de [Balestra y Nerlove \(1996\)](#) se asume que la nueva demanda de gas, G^* , es una

función del precio relativo de gas,⁶ P y el nuevo requerimiento total para todo tipo de combustible, F^* .⁷

$$(1) G^* = f(P, F^*) \quad (1)$$

Asumiendo linealidad, la ecuación (1) se tiene:

$$G_t^* = \alpha_0 + \alpha_1 P_t + \alpha_2 F^* \quad (2)$$

o de forma equivalente,

$$\begin{aligned} G_t^* = \alpha_0 + \alpha_1 P_t + \alpha_2 F_t - (1 - r)F_{t-1} + (1 - r_g)G_{t-1} \\ \alpha_0 + \alpha_1 P_t + \alpha_2 \Delta F_{t-1} + (1 - r_g)G_{t-1} \end{aligned} \quad (3)$$

La ecuación (3) representa el mecanismo dinámico del modelo. Los parámetros r y r_g no necesitan ser conocidos *a priori*, por lo que la estimación de ellos es contemplada por (3).

En las consideraciones teóricas y empíricas se ha encontrado que el consumo total se puede aproximar por una ecuación de la forma:

$$F_t = \gamma_0 + \gamma_1 N_t + \gamma_2 I_t \quad (4)$$

⁶ Dos definiciones diferentes de la variable precio se pueden considerar: i) el precio de gas deflactado por el índice de precios al consumidor, y ii) el precio del gas deflactado por el precio de alguno de los sustitutos y los resultados son bastante similares (aunque se deben interpretar de manera diferente).

⁷ La demanda de gas es derivada de la demanda de calefacción de espacios. La demanda total de combustible es un sucedáneo para la demanda total para la calefacción del espacio. La ecuación (1), en términos convencionales, simplemente expresa la demanda para un “factor de producción” como una función de su precio relativo con otros factores y del producto.

donde N_t e I_t son la población total y el ingreso total per cápita respectivamente. El efecto del precio se encontró que es insignificante. Sustituyendo (4) en (3), obtenemos

$$G_t = \alpha_0 + \alpha_1 P_t + \alpha_2 \Delta N_t + \alpha_3 N_{t-1} + \alpha_4 \Delta I_t + \alpha_5 I_{t-1} + \alpha_6 G_{t-1} \quad (5)$$

La ecuación (5) tiene una forma adecuada para su estimación. El parámetro implícito r , sin embargo, es ahora sobre identificado, por lo que la estimación de éste es indicado por ambas razones α_3/α_2 y α_5/α_4 , siendo necesaria una restricción de maximización. Acompañada por las definiciones

$$G_t = \alpha_0 + \alpha_1 P_t + \alpha_2 N_t^* + \alpha_4 I_t^* + \alpha_6 G_{t-1}, \quad (6)$$

donde $N_t^* = N_{t-(1-r)} N_{t-1}$ e $I_t^* = I_{t-(1-r)} I_{t-1}$.

La ecuación (6) es ahora estimada para valores de r en el intervalo admisible y el valor así elegido es equivalente a maximizar la función de verosimilitud (la cual, en este caso, es igual a maximizar la R^2).

Las elasticidades y su importancia en las estructuras de mercado

La elasticidad se define como el porcentaje de cambio de la cantidad demandada atribuida a un porcentaje dado de cambio de una variable independiente ([Gujarati, 2009](#)).

Las elasticidades y su importancia en las estructuras de mercado

La elasticidad precio mide la sensibilidad de la demanda ante los cambios en el propio precio del bien y se define como:

$$e_{ii} = (\partial q_i / \partial p_i)(p_i / q_i) = \partial \log q_i / \partial \log p_i$$

la cual mide el porcentaje de cambio en la cantidad demandada del bien i inducida por un cambio porcentual en el precio del bien i , manteniendo constantes los valores de las otras variables independientes.

Los valores de la elasticidad son ([Koutsoyiannis, 1979: 63](#)): $e_p = 0$, la demanda es perfectamente inelástica; $e_p = 1$, la demanda tiene elasticidad unitaria; $e_p = \infty$, la demanda es perfectamente elástica; si $0 < e_p < 1$, se dice que la demanda es inelástica; y si $1 < e_p < \infty$, se dice que la demanda es elástica.

Los determinantes básicos de la elasticidad precio de la demanda son: a) La existencia de productos sustitutos; la demanda de una mercancía es más elástica si existen sustitutos cercanos; b) la naturaleza de la necesidad que el bien satisface. En general, los artículos suntuarios son elásticos respecto al precio, en tanto que los de primera necesidad son inelásticos; c) el periodo considerado, la demanda es más elástica en el largo plazo; d) la cantidad de usos que puede darse a cierto bien; cuanto mayor es esta cantidad, mayor es la elasticidad precio; e) la proporción del ingreso gastado en la mercancía; f) el nivel de información del producto y de sus sustitutos en el mercado. La respuesta a un cambio del precio será mayor entre mayor sea el conocimiento de los participantes del mercado acerca de las alternativas con que cuentan ([Pagoulatos y Sorensen, 1987](#)).

Algunos resultados empíricos son consistentes con la hipótesis de que la elasticidad precio de la demanda es en parte determinada por el comportamiento competitivo de las empresas en una industria ([Pagoulatos y Sorensen, 1987](#)). Otras variables importantes que también influyen en la elasticidad son la concentración industrial, la etapa de producción, la existencia de protección a la entrada de empresas domésticas y extranjeras, y la expansión de nuevos productos en un mercado particular.

En un estudio empírico, [Pagoulatos y Sorensen \(1987\)](#) encontraron que la elasticidad precio de la demanda intermedia (etapa de producción) es menor que la elasticidad de la demanda final; y además que la razón de concentración de las cuatro empresas principales de la industria, tiene un efecto positivo en la elasticidad precio de la demanda. Este resultado sostiene que la elasticidad precio de la demanda es mayor en los menores grados de competencia de la industria. Al coludirse las empresas intentan restringir el nivel de producción e incrementan el precio hasta alcanzar la porción más elástica de la curva de demanda de la industria.

En contraposición, [Scitovsky \(1951\)](#) y [Ferguson \(1971\)](#) mencionan que la elasticidad disminuye con el nivel de concentración. A mayor nivel de concentración menor elasticidad. La elasticidad está en función del número de competidores reales y potenciales. El grado de protección de una industria, barreras a la entrada de empresas domésticas y extranjeras reduce la disponibilidad de sustitutos y por tanto baja la elasticidad precio de la demanda.

La elasticidad ingreso de la demanda

Se define como el cambio proporcional de la demanda q_i ante un cambio proporcional del ingreso I , *ceteris paribus*:

$$\eta_1 = (\partial q_i / \partial I)(I / q_i) = \partial \log q_i / \partial \log I$$

Los valores de la elasticidad ingreso han servido para clasificar a los bienes en base al ingreso: $\eta > 1$, bienes normales y de lujo; $0 < \eta < 1$, bien normal necesario; y $\eta < 0$, inferior.

Los principales determinantes de la elasticidad ingreso son: a) la naturaleza de la necesidad que satisface el bien. El porcentaje del ingreso gastado en alimentación disminuye a medida que aumenta el ingreso; b) el nivel inicial de ingreso de un país; c) el periodo considerado; las pautas de consumo se ajustan a los cambios en el ingreso con un desfase temporal.

Estimación de la demanda y las elasticidades de gas natural en México

Con base en los modelos de demanda de gas natural planteados por [Al-Sahlawi y Boy \(1987\)](#) y [Balestra y Nerlove \(1966\)](#), se define el modelo logarítmico de demanda a nivel nacional.

El modelo de demanda nacional es:

$$\begin{aligned} \ln(Q_{CNTP}/POB) = & \alpha_1 + \alpha_2 \ln(Q_{CNTP_{(-1)}}/POB_{(-1)}) + \alpha_3 \ln P_{GN} \\ & + \alpha_4 P_{GLP} + \alpha_5 \ln P_{Comb} + \alpha_6 \ln P_{TElect} \\ & + \alpha_7 \ln(PIB/POB) + \alpha_8 MA + \alpha_9 T \\ & + \alpha_{10} D_1 + U_t \end{aligned}$$

donde Q_{CNTP} es el consumo nacional total de gas natural; P_{GN} es el precio real del gas natural; P_{GLP} es el precio real del gas LP; P_{Comb} es el precio real del combustóleo; P_{TElect} es el precio real de tarifa general eléctrica; PIB es el producto interno bruto; $Q_{CNTP(-1)}$ es el consumo nacional total de gas natural rezagado un periodo; POB es la población total de México; T es la variable de tendencia en el tiempo; MA es la media móvil del consumo nacional total de gas natural; y D_1 es la variable *dummy* de cambio estructural (reformas en la industria de gas natural).

Este modelo contempla la posibilidad de estimar la función de demanda nacional tanto en términos agregados como en términos per cápita y bajo funciones lineales y logarítmicas, dependiendo de los datos disponibles y de los resultados econométricos.

Descripción de las variables utilizadas

A partir de los modelos teóricos propuestos y de la información estadística disponible se plantan las siguientes variables:

- Q_{CNTP} : Consumo nacional total de gas natural (en millones de metros cúbicos anuales), que comprende una serie histórica de 1970-2018. Fuentes estadísticas: *El Balance Nacional de Energía de 1996* (primer periodo de 1970-1996) y *La Prospectiva del Mercado de Gas Natural 1998-2007* (segundo periodo de 1996-1999) y *Sistema de Información Energética* (tercer periodo de 2000-2018).
- Q_{CNA} : Consumo nacional aparente de gas natural (en millones de metros cúbicos anuales), de 1970-2018. Esta variable se construyó con base a tres indicadores: Producción + Importaciones

- Exportaciones. Estas variables son contempladas a lo largo del periodo de estudio en diversas fuentes estadísticas: *Anuarios Estadísticos de PEMEX*⁸ y el *Sistema de Información Energética*.
- Q_{CNTP}/POB : Consumo nacional total per cápita de gas natural (en millones de metros cúbicos anuales por persona) de 1970-2018. Esta variable se construyó dividiendo Q_{CNTP} entre POB .
 - Q_{CNA}/POB : Consumo nacional aparente per cápita de gas natural (en millones de metros cúbicos anuales por persona) de 1970-2018. Esta variable se construyó dividiendo Q_{CNA} entre POB .
 - P_{GN} : Precio del gas natural en pesos por metro cúbico (\$/m³) de 1970-2018 y deflactado mediante el índice de precios al consumidor (2013 = 100). Las fuentes estadísticas fueron: *Anuarios Estadísticos de PEMEX* y *El Compendio Estadístico del Sector Energía 1980-1998* y *Prospectivas del Gas Natural para el periodo 2000-2018*.
 - P_{GLP} : Precio del gas LP en pesos por kilogramo (\$/Kg) de 1970-2018, deflactado mediante el índice de precios al consumidor (2013 = 100). Las fuentes estadísticas fueron: *Anuarios Estadísticos de PEMEX*, *Compendios Estadístico del Sector Energía 1980-1998*, *Prospectivas del Gas Natural para el periodo 2000-2018* y el *Sistema de Información Energética*.
 - P_{Comb} : Precio del combustóleo en pesos por metro cúbico (\$/m³) de 1970-2018 y deflactado mediante el índice de precios al consumidor (2013 = 100). Las fuentes estadísticas fueron: *Anuarios Estadísticos de PEMEX*, *Compendios Estadístico del Sector*

⁸ Los anuarios estadísticos de PEMEX comprenden varios años (1980-2018).

Energía 1980-1998, Prospectivas del Gas Natural para el periodo 2000-2018 y el Sistema de Información Energética.

- P_{Telect} : Tarifa general de electricidad en pesos por kilowatts hora ($\$/kWh$) de 1970-2018, deflactado mediante el índice de precios al consumidor (2013 = 100). Las fuentes estadísticas fueron: El *Compendio Estadístico del Sector Energía 1980-1998*, *Anuarios Estadísticos de la Comisión Federal de Electricidad*, estadísticas de la Comisión Reguladora de Energía y del *Sistema de Información Energética*.
- POB : Población en millones de habitantes de 1970-2018. Fuente: Balance Nacional de Energía de 1996, estadísticas del Consejo Nacional de Población (CONAPO) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- PIB : Producto interno bruto nacional en millones de pesos (2013 = 100) de 1970-2018. Fuente: *Balance Nacional de Energía* de 1996, *Indicadores Económicos* del Banco de México (varios años) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- MA : Variable que representa el promedio móvil de Q_{CNTP} . Se adicionó para eliminar la autocorrelación serial.
- T : Es una variable tendencia.
- $D1$: Variable *dummy* que indica las reformas estructurales de la industria de gas natural realizadas a lo largo del periodo. $D1 = 0$ para los periodos 1970-1994 y $D1 = 1$ para los periodos 1995-1999, 2006-2012 y 2013-2018.

Modelo econométrico de la demanda de gas natural y análisis de resultados

Se estimó la función de demanda a nivel nacional considerando la variable consumo nacional total de gas natural. Aunque se probaron diferentes variables y formas funcionales, sólo se reportan la función con las variables más consistentes y significativas.

Para estimar la demanda nacional se utilizó la variable de Q_{CNTP} (consumo nacional total de gas natural). Sin embargo, resultando más significativo el Q_{CNTP} en términos per cápita, es decir, (Q_{CNTP}/POB) consumo nacional total per cápita de gas natural bajo una función logarítmica. En este tipo de funciones los coeficientes estimados representan las diferentes elasticidades⁹ de la función de demanda nacional.

La especificación de la ecuación del modelo resultante es la siguiente:

$$\begin{aligned} \ln(Q_{CNTP}/POB) = & -3.057 - 0.164 \ln(Q_{CNTP(-1)}/POB_{(-1)}) \\ & (-1) - 0.066 \ln P_{GN}(-1) - 0.067 P_{GLP}(-5) \\ & + 0.027 \ln P_{Comb}(-2) - 0.154 \ln P_{TElect}(-1) \\ & + 0.316 \ln(PIB/POB) + 0.001 MA(-1) \\ & + 0.002T - 0.021D_1 + U_t \end{aligned}$$

En esta función, el consumo nacional total per cápita del sector eléctrico $(Q_{CNTP(-1)}/POB_{(-1)})$ fue significativo con un rezago, pero respondió negativamente. Esto indicaría que el consumo de un periodo

⁹ Las funciones logarítmicas definen elasticidades constantes.

anterior no influye en la demanda del año en curso. El coeficiente del precio de gas natural (P_{GN}), se obtuvo con el signo esperado y fue significativo con un rezago. Esto indicaría que la demanda nacional responde ante cambios del precio al año siguiente. Esto podría indicar la forma en que los consumidores crean nuevas expectativas acerca de sus ventajas técnicas y económicas.

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99202952
Coeficiente de determinación R^2	0.98412256
R^2 ajustado	0.98045854
Error típico	0.02329603
Observaciones	49

Análisis de varianza					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Prom. de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	9	1.312	0.146	268.591	0.000
Residuos	39	0.021	0.000		
Total	48	1.333			

El valor de este coeficiente reporta una elasticidad precio de la demanda muy inelástica. Esta elasticidad refleja un comportamiento de elasticidad de largo plazo (-0.065). El hecho de que la demanda sea muy inelástica al precio (-0.065), se explica por la alta dependencia de las importaciones de gas natural que provienen de los Estados Unidos,

así como de los precios de referencia internacionales para su comercialización¹⁰. Aunque también indicaría cierto nivel de concentración derivado por la forma en que se construyeron las zonas de distribución y comercialización.¹¹

Variablen	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	-3.057	2.963	-1.032	0.309
$LOGQ_{CNTP_{t-1}}$	-0.164	0.025	-6.501	0.000
$LOGP_{GN}$	-0.066	0.018	-3.576	0.000
$LOGP_{GLP}$	-0.067	0.032	-2.066	0.045
$LOGP_{Comb}$	0.0271	0.011	2.360	0.023
$LOGP_{Telect}$	-0.154	0.054	-2.871	0.007
$LOGPIB_{PerCap}$	0.316	0.082	3.847	0.000
MA	0.001	0.000	11.818	0.000
T	0.002	0.002	1.240	0.222
D_1	-0.021	0.012	-1.778	0.083

Con relación a los sustitutos utilizados, los precios del gas LP (P_{GLP}), del combustóleo (P_{Comb}) y la tarifa general de electricidad (P_{Telect}) fueron significativos. Sin embargo, sólo el coeficiente del precio del combustóleo fue positivo, lo que confirmaría que se trata de un sustituto cercano del gas natural. De acuerdo con la teoría, entre más grande sea el valor de la elasticidad cruzada, mayor será el grado de sustitución. Sin embargo, en el caso del precio del combustóleo, el coeficiente fue muy bajo (0.0271). Respecto a los coeficientes del precio

¹⁰ Es posible que tenga un índice pequeño de penetración en el mercado nacional en ciertos sectores económicos.

¹¹ A mayor grado de concentración la demanda de productos es más inelástica (Ferguson, 1974; Scitovsky, 1951).

del gas LP y de la tarifa general de electricidad se observa que resultaron negativos, lo cual indica que a lo largo del periodo de análisis se consideran complementos del gas natural. Dado que se observan coeficientes muy bajos (-0.0669 y -0.1542 respectivamente) se concluye que el grado de este complemento es muy bajo.

Además, se debe aclarar que la respuesta de la demanda no es inmediata ante variaciones del precio de estos bienes complementarios y sustitutos. Así, la demanda responde con un rezago de cinco años para el precio del gas lp (P_{GLP}), con dos años de retraso para el precio del combustóleo (P_{Comb}) y con un año para la tarifa general de electricidad (P_{Telect}).

En el caso del ingreso per cápita ($PIBP$) la respuesta de la demanda ante esta variable fue positiva. Esto reporta una elasticidad ingreso de la demanda positiva lo que define al gas natural como un bien normal. Es decir, que ante incrementos en el ingreso la demanda nacional del gas natural aumenta.

La variable de tendencia (T) mostró un signo positivo, siendo un resultado esperado. Esto señala que la demanda nacional de gas natural ha aumentado a lo largo del tiempo. La variable $MA(1)$ es decir, el proceso de promedios móviles se adicionó para eliminar la autocorrelación serial. Con relación a la variable instrumental (*dummy*), la variable $D1$ no fue significativa, pero su resultado estuvo muy cerca del nivel de significancia aceptado ($0.083 > 0.05$), por lo que podría contribuir a mostrar un incremento en el intercepto de la demanda nacional por efecto de las reformas estructurales.

Consideraciones finales

A mediados de los noventa, el gobierno impulsó la apertura—mediante reformas al sector de gas natural—de ciertas actividades del sector a la inversión privada. Se permitió la inversión en el transporte, la distribución, el almacenamiento, la importación y la comercialización de gas natural en territorio nacional, de tal manera que Pemex pudiera concentrar sus inversiones en la exploración y explotación del gas, actividades estratégicas de la industria que quedaron reservadas al Estado. En noviembre de 1995 se introdujeron las reformas pertinentes a la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el ramo del petróleo y se expidió el reglamento de gas natural, con el objetivo de redefinir el ámbito de la industria petrolera y establecer los lineamientos generales del marco regulador de la industria de gas natural, así como brindar certidumbre jurídica a los inversionistas interesados en incursionar en este sector.

La Reforma de 1995 sentó las bases de un esquema regulado de convivencia entre el sector público y el privado que tenía como propósito impulsar de manera eficiente el aprovechamiento del gas natural. Como resultado de este esquema propuesto, México pudo concretar inversiones importantes en este sector, aunque no se tuvo un efecto tan inmediato.

Veinticinco años después, el gobierno concretó estos cambios mediante una apertura a la inversión privada en este sector. Con ello, la participación de terceros en la cadena de valor de gas natural se completaba en actividades de exploración, extracción y producción de gas natural, hasta la comercialización al usuario final, pasando por el procesamiento, transporte, almacenamiento y distribución.

Por otro lado, tras un escenario de precios bajos del gas natural, México seguirá beneficiándose del exceso de oferta que prevalece en el mercado regional del sur de los Estados Unidos, gracias a la extracción de yacimientos ubicados en aguas profundas y a los campos de gas no convencional. En este sentido, se mantendrá el incremento de la demanda de corto plazo, particularmente en los sectores industrial y eléctrico, a pesar de la débil y frágil recuperación económica. Aunque también, podría esperarse una expansión en la demanda de gas para el sector transporte.

Sin embargo, México seguirá siendo un importador neto de gas natural al menos en la próxima década, situación que indica que las reformas al sector han impactado más en la demanda que en la oferta de gas natural. A pesar de los esfuerzos planteados para revertir la caída en la producción de gas natural se tiene que incentivar al sector privado para buscar nuevas extracciones en campos aún no descubiertos, en campos ubicados en aguas profundas, y en yacimientos de gas no convencional. La demanda nacional seguirá creciendo a un ritmo mayor que la producción interna y el diferencial seguirá siendo significativo. Las importaciones netas de gas natural podrían mantenerse con una tasa de crecimiento anual de alrededor de 18% durante los próximos años.

Los resultados obtenidos en el modelo econométrico de demanda de gas natural son congruentes con los acontecimientos económicos que influyen en este mercado. La demanda nacional de gas natural responde ante cambios en el precio con movimientos en la cantidad demandada para el año siguiente, esto podría indicar que los consumidores crean expectativas sobre las posibles ventajas técnicas y económicas para cambiar el consumo de este hidrocarburo en función del precio.

Otro resultado relevante dentro del modelo radica en el hecho de que la demanda de gas natural resultó muy inelástica al precio, lo cual, podría explicarse por la alta dependencia de las importaciones de gas natural que provienen de los Estados Unidos; así como de los precios de referencia ubicados en el Sur de Texas para su comercialización. Por otra parte, no se debe omitir que existía una regulación rígida que establecía un esquema de venta interna donde Pemex (hasta antes de la reforma de 2014) fue prácticamente el único proveedor de este bien. Es posible considerar que los efectos en el sector, derivados de la última reforma aún no son cuantificables en el comportamiento de la demanda de gas natural, por tal razón, se espera que este estudio sirva de referencia para análisis en años posteriores.

Referencias

- Al-Sahlawi, M. y Boy, R. (1987), Energy demand in developing countries and Third World response to changes in the international oil market, *The Journal of Energy and Development* 12(2): 225-243.
- Balestra, P. y Nerlove, M. (1996), Pooling cross section and time series data in the estimation of a dynamic model: The demand for natural gas, *Econometrica* 34(3): 585-611.
- Chamberlain, C. (1974), Policy options: gas tax vs gas rationing and/or auto excise tax”, Documento de Trabajo, US Department of Transportation, Cambridge, MA.
- Dahl, A. (1984), Energy modeling: the state of the art, Departement of Economics, Louisiana State University, Louisiana.
- Desproires, P. (1986), Oil, natural gas and the new equilibrium in the energy market, *OPEC Review* 10(4).
- Ferguson, J. M. (1974), *Advertising and competition: theory, measurment, fact*, Ballinger, Cambridge, MA.
- Gobierno de México (2017), Prontuario de gas natural, disponible en <http://www.>

- gob.mx/ (acceso 12 de junio de 2020).
- Gobierno de México (2018), Estrategia Integral de Suministro de Gas Natural, disponible en <https://www.gob.mx/> (acceso 12 de junio de 2020).
- Gujarati, D. N. y Porter, D. C. (2009), *Econometría*, McGraw-Hill, México.
- Hashom, M. P. y Smith, R. (1993), Alternative approaches to estimating long-run energy demand elasticities: an application to Asian developing countries, Documento de Trabajo núm. 9308, Departament of Applied Economics, University of Cambridge.
- Kaplan, S. (1983), *Energy Economics Quantitative Methods Decisions*, Mc-Graw Hill, Estados Unidos.
- Kennedy, M. (1974), An economic model of the world oil market, *Bell journal of Economic and Management Science* (4): 540-577.
- Koutsoyiannis, A (1979), *Microeconomía moderna*, Amorrortu, Buenos Aires, Argentina.
- Lajous, A. (2012), Nuevas perspectivas del Gas Natural en México, *Foro Internacional* 52(3)3.
- Ludlow-Wienchers, J. A. (1987), *Economía matemática II. Temas selectos de la teoría económica*, Limusa, México.
- Miyata, M. (1987), Changes in oil and gas demand and interfuel competition since the oil crisis in Japan, *OPEC Review* 11(4): 47-498.
- Pagoulatos, E. y Sorensen, R. (1987), What determines the elasticity of industrial demand, *International Journal of Industrial Organisation*, 4(2): 237-250.
- Royal Dutch Shell (2015), Introducción del Director de Gas Integrado y Nuevas Energías de Shell: El papel fundamental del gas natural, *Informe Gas Natural: más energía, más limpia* (4): 7.
- Scitovsky, T. (1951), *Wealfare and Competition*, Irwin, Chicago, IL.
- Secretaría de Energía (2010), *Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2010-2025*, México, pp. 122-123.
- Secretaría de Energía (2018), *Prospectiva de Gas Natural 2018-2032*, México, pp. 20-50.
- Zepeda, S. (1993), Política comercial, en García, E. (ed.), *Nuevos paradigmas económicos*, Nueva Visión, Buenos Aires, pp. 54-76.

CAPÍTULO 8

Efectos del índice de letalidad por Covid-19 y el tipo de cambio en la mezcla mexicana de petróleo de exportación México

Ricardo J. Mendoza Rivera
José Antonio Lozano Díez
Francisco Venegas Martínez

México enfrenta, actualmente, una emergencia sanitaria sin precedentes por causa de la pandemia Covid-19 ([FMI, 2020](#)). El 11 de febrero de 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce un nuevo virus, coronavirus de tipo 2, causante del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2), también conocido como Covid-19. El 11 de marzo de 2020, la OMS declara la epidemia de Covid-19 como pandemia ([OMS, 2020](#)). Semanas después, el SARS-CoV-2 muestra sus efectos en la Eurozona y en Estados Unidos. Para el 28 de febrero de 2020, el coronavirus arriba a México y la Secretaría de Salud reporta el

primer caso positivo de coronavirus en la Ciudad de México. Los niveles sorprendentemente crecientes de transmisibilidad del SARS-CoV-2 obligaron a las autoridades sanitarias mexicanas a catalogarlo como pandemia el 11 de marzo de 2020. Para el 23 de marzo de 2020, el gobierno federal inicia la jornada nacional de sana distancia y suspende las actividades no esenciales. Para la primera semana de julio de 2020, México alcanza un pico máximo en su tasa de letalidad (razón entre fallecimientos e infectados confirmados) de más el 26%.

Asimismo, la pandemia ha tenido efectos negativos en el Producto Interno Bruto (PIB) mexicano, dando lugar a una caída histórica del 17.3% entre abril y junio, comparado con el trimestre anterior, lo cual condujo a una reducción en la demanda del petróleo en México. Aunado a esto, la guerra de precios del petróleo entre Rusia y Arabia Saudita potencializó el efecto negativo generando caídas bruscas e inesperadas de los precios de los precios internacionales del petróleo ([Albulescu, 2020](#)) y, por ende, en el precio de la Mezcla Mexicana de Petróleo de Exportación (MMPE). El precio del barril de la mezcla mexicana de petróleo de exportación cerró el lunes 20 de abril de 2020 a -2.37 dólares por barril; el peor nivel histórico.

La presente investigación se concentra en estudiar el efecto del índice de letalidad por Covid-19 y el tipo de cambio en el precio de la MMPE mediante el uso de un modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL). La incertidumbre en la política económica de los Estados Unidos generada por los estragos del Covid-19 y su guerra comercial contra China, han desacelerando las cadenas productivas con México, lo cual ha impactado negativamente al tipo de cambio mexicano. El 6 de abril el tipo de cambio peso-dólar alcanza un máximo histórico \$25.7849. Desde principios de 2020, la correlación entre la

volatilidad del tipo de cambio y el precio de la MMPE se ha ido incrementando. En este trabajo se intenta dar respuesta ¿qué tanto la pandemia del coronavirus ha acentuado dicha dependencia?

El trabajo se organiza como sigue: en la próxima sección se hace una breve revisión de la literatura; en la sección 3 se describe el comportamiento de las variables relevantes; en la sección 4 se aplica la metodología econométrica (ARDL); en la sección 5 se proporcionan las conclusiones.

Breve revisión de la literatura

A principios de marzo de 2020, Arabia Saudita inició una guerra de precios con Rusia generando una caída importante en el precio del petróleo. A principios de marzo, la OPEP llegó a un acuerdo para reducir la producción de petróleo en 1.5 millones de barriles por día; con niveles de producción al nivel más bajo desde la guerra de Irak. El 8 de marzo de 2020, Arabia Saudita anunció inesperadamente que aumentaría la producción de petróleo crudo para venderlo en Asia, Estados Unidos y Europa, y Rusia se manifestó en contra de reducir la producción. Como consecuencia, el precio del energético cayó en Estados Unidos alrededor de 34 dólares. Los precios del petróleo ya habían caído un 30% desde el comienzo del año debido a una caída en la demanda. Como consecuencia de estos eventos, el precio del barril de la MMPE tuvo su peor desplome histórico el lunes 20 de abril de 2020 alcanzando un precio -2.37 dólares. Al mismo tiempo, debido a la pandemia Covid-19 se presenta una reducción en la demanda de viajes por transporte aéreo, terrestre y marítimo, así como por la disminución drástica de la actividad industrial, lo cual, a su vez, disminuyó significativamente

la demanda global de petróleo, vulnerando, por supuesto, también las exportaciones del petróleo mexicano.

Entre las referencias recientes sobre el Covid-19 y los precios del petróleo, se encuentran en [Albulescu \(2020\)](#) quien realiza las estimaciones a través de un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL, por su acrónimo en inglés) y muestra que los casos notificados diariamente de nuevas infecciones tienen un impacto negativo marginal en los precios del petróleo en el largo plazo; sin embargo, cuando se amplifica la volatilidad de los mercados financieros, el Covid-19 también tiene un efecto indirecto sobre la dinámica reciente de los precios del petróleo.

[Apergis y Apergis \(2020\)](#) investiga el efecto del Covid-19 y los precios del petróleo en el conflicto partidista estadounidense. Utilizando datos diarios sobre el Covid-19 mundial y los precios del petróleo, datos mensuales sobre el índice de conflictos partidistas de Estados Unidos. El hallazgo principal sugiere que tanto el Covid-19 como los precios del petróleo mitigan la polarización política de Estados Unidos. El hallazgo implica que los líderes políticos apuntan poco a las ganancias partidistas durante tiempos estresantes.

De la misma manera, [Sharif *et al.* \(2020\)](#) analizan las relaciones entre el Covid-19, el impacto de la volatilidad del precio del petróleo, el mercado de valores, el riesgo geopolítico y la incertidumbre de la política económica en los Estados Unidos. Dentro de un marco de frecuencias, los autores utilizan el método de coherencia de onda (un modelo en el dominio de las frecuencias) y las pruebas de causalidad de Granger, basadas en ondas aplicadas a datos diarios recientes de Estados Unidos. Los autores revelan un impacto sin precedentes del Covid-19 y los choques de precios del petróleo en los niveles de riesgo

geopolítico, la incertidumbre de la política económica y la volatilidad del mercado de valores en las bandas de baja frecuencia.

Baldwin y Weder di Mauro (2020) plantean que el Covid-19 no es el primer choque de oferta que se ha visto en el mundo. Las “crisis del petróleo” de los setenta son los ejemplos más conocidos, pero las que iniciaron en 2011 con las inundaciones de fábricas en Tailandia y el terremoto en Japón. Aunque estos eventos son muy diferentes entre sí, una característica única del shock de suministro de Covid-19 se refiere a su patrón de propagación, lo cual no se observa en las caídas extremas e inesperadas en los precios del petróleo.

Por otro lado, la incertidumbre en la política económica de Estados Unidos generada por los estragos del Covid-19 y su guerra comercial contra China ha desacelerado la producción mundial, lo cual junto a la pandemia del coronavirus contribuye a un aumento de correlación entre la volatilidad del tipo de cambio y el precio del petróleo. Respecto a la literatura sobre la relación del Covid-19 con el tipo de cambio, se pueden también mencionar a Iqbal *et al.* (2020) cuyos resultados sugieren la insignificancia de un aumento de temperatura para contener o ralentizar las nuevas infecciones por Covid-19. Asimismo, los autores encuentran que el tipo de cambio del RMB (moneda china) y el Covid-19 mostraron una coherencia de fase en puntos específicos de frecuencia de tiempo, lo que sugiere un impacto negativo pero limitado del brote de Covid-19 en Wuhan en las exportaciones chinas. Asimismo, de acuerdo con el reporte Respuestas de las Políticas de 2020 al coronavirus, la crisis de Covid-19 ha tenido efectos importantes en los tipos de cambio y los flujos de capital globales. La inversión de cartera transfronteriza se detuvo en muchos mercados emergentes, así como en algunas economías avanzadas en marzo de 2020; muchos

países han tenido que recurrir a controles de capital. Asimismo, para respaldar la liquidez en moneda extranjera varios mercados emergentes han intervenido en el mercado cambiario y relajando las reglas sobre las entradas de capital.

Por último es importante mencionar el trabajo de [Cardona-Arenas y Serna-Gómez \(2020\)](#) sobre las relaciones entre el Covid-19, el precio del petróleo y el tipo de cambio para el caso colombiano, utilizando un modelo de Vectores Autorregresivos (VAR). Los autores encuentran que el proceso de depreciación del peso colombiano frente al dólar, entre febrero y marzo de 2020, es explicado por un efecto mixto entre Covid-19 y los precios del petróleo.

Comportamiento de las variables estudiadas

Los datos para calcular el índice de fatalidad del Covid-19 provienen de la Secretaría de Salud,¹ el tipo de cambio publicado por Banxico² y el precio de la mezcla mexicana de petróleo crudo de exportación publicada por Banco de México³ (dólares por barril). El índice de letalidad por Covid-19 se calcula a partir del 26 de febrero de 2020. La tasa de letalidad (*fatality ratio*) al tiempo t , TL_t , es la proporción de individuos que fallecen por Covid-19 con respecto de los casos afectados confirmados positivos al tiempo t , es decir:

¹ <https://cutt.ly/7mlKv5n>.

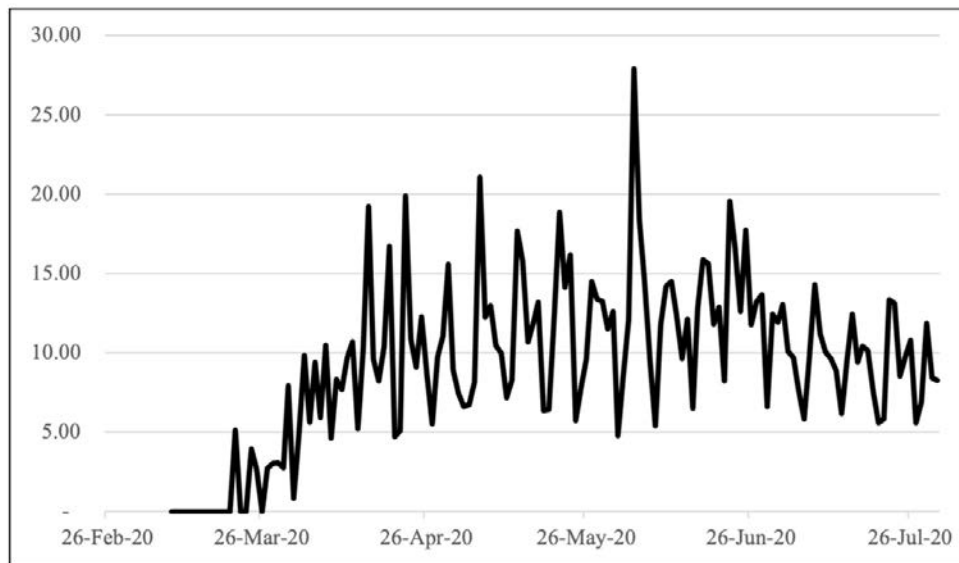
² <https://cutt.ly/tmlKmMw>.

³ <https://cutt.ly/smlKWBm>.

$$TL_t = \frac{M_t}{A_t} \times 100, \quad (1)$$

donde M_t es el número de fallecimientos por Covid-19 en el día t y A_t son los casos afectados confirmados por Covid-19 en el día t .

Figura 1
Tasa de letalidad diaria en México (%)

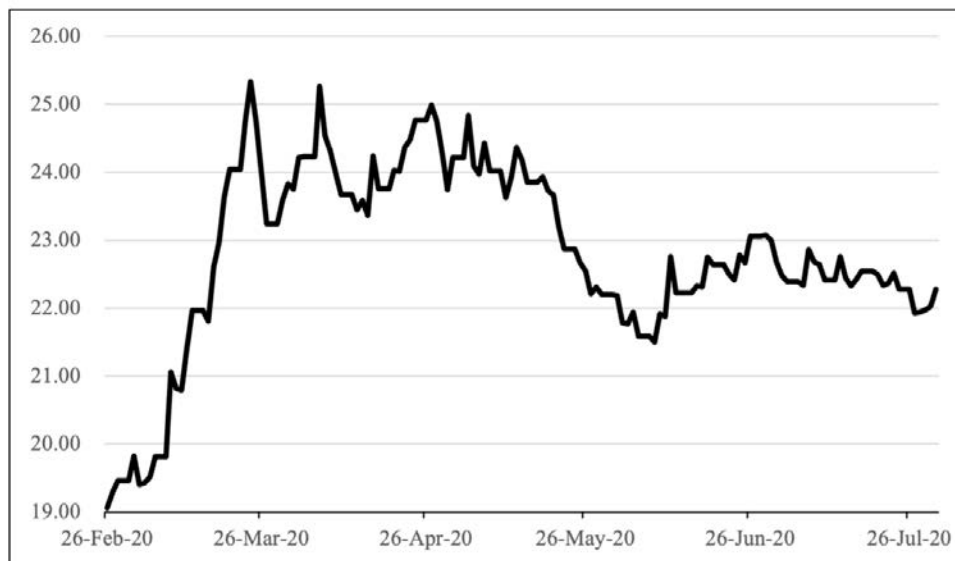


Nota: M2 corresponde a february y M7 a julio de 2020.

Fuente: elaboración propia con Eviews 11 y datos de la Secretaría de Salud.

Como puede observarse en la figura 1, la tasa de letalidad diaria en México crece de manera sostenida en marzo y abril para estabilizarse en mayo y, posteriormente, alcanza su máximo en la primera semana de junio de 2020 y a partir de julio se estabiliza de nuevo.

Figura 2
Precio diario de la mezcla mexicana, febrero-julio de 2020 (dólares)



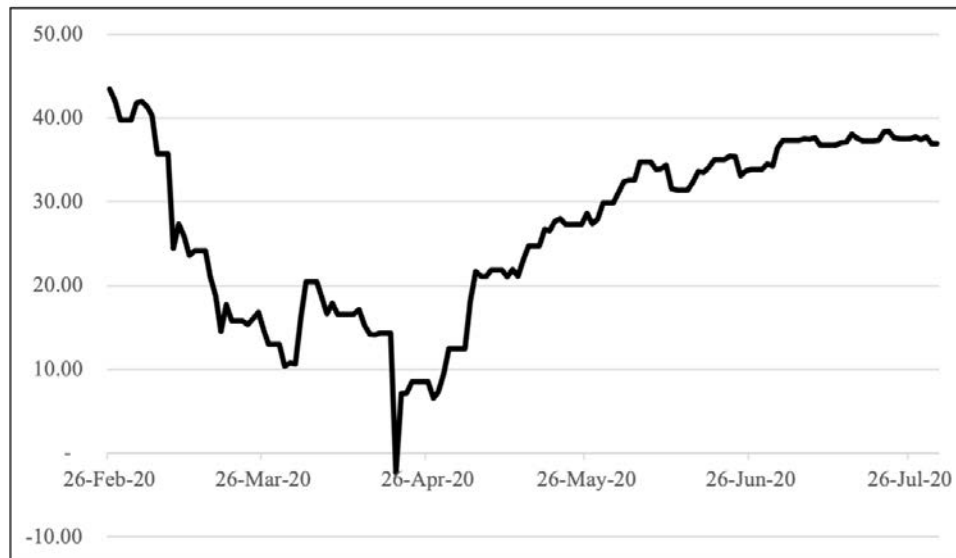
Nota: M2 corresponde a febrero y M7 a julio de 2020.

Fuente: elaboración propia con Eviews 11 y datos del Banco de México.

Según la figura 2, el precio del barril de la MMPE cayó a niveles negativos el lunes 20 de abril de 2020, en -2.37 dólares por barril al cierre del día, su peor nivel histórico. Posteriormente, se observa una recuperación en los siguientes tres meses a sus valores en febrero 2020. Así lo confirmó Petróleos Mexicanos (Pemex), después de que la cotización del barril de los crudos WTI (*West Texas Intermediate*) y Brent, las referencias en Estados Unidos y la zona del Mar del Norte, cayeran de manera brusca haciendo que el precio del barril la MMPE tomara valores negativos por primera vez en su historia. Como puede observarse en la figura 3, el 25 y 26 de marzo el tipo de cambio alcanza máxi-

mos históricos \$25.0782 y \$25.1185 pesos por dólar. El peso mexicano se aprecia en mayo de manera continua, y en junio y julio el tipo de cambio se estabiliza en promedio en 22 pesos por dólar.

Figura 3
Tipo de cambio diario peso mexicano-dólar estadounidense,
febrero-julio de 2020



Nota: M2 corresponde a february y M7 a julio de 2020.

Fuente: elaboración propia con Eviews 11 y datos del Banco de México.

Metodología econométrica ARDL

La metodología econométrica empleada en esta investigación es un modelo ARDL, el cual utiliza conjuntos de datos pequeños y de tamaño

finito (Pesaran *et al.*, 2001). Para realizar la prueba conjunta de cointegración, el modelo ARDL se especifica de la siguiente manera:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \sigma_j \Delta x_{t-j} + \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-1} + \mu_t, \quad (2)$$

donde Δ denota el operador de primeras diferencias, β_i y σ_i representan los coeficientes de corto plazo, ϕ_1 y ϕ_2 son los coeficientes de largo plazo y μ_t es un ruido blanco.

Pruebas de raíz unitaria

De acuerdo con la metodología propuesta, en primer lugar, se tiene que investigar si las variables seleccionadas son estacionarias o no. Para ello, se utiliza la prueba aumentada de Dickey y Fuller (1979) para examinar la estacionariedad de las variables. Los resultados de estas pruebas se muestran en el cuadro 1. Como se puede observar en el cuadro, las diferencias de las variables son estacionarias, lo permite utilizar un modelo del tipo ARDL.

A continuación, se determina el mejor modelo ARDL con el criterio Hannan-Quinn, donde el ARDL (2, 0, 1) es el mejor. En la figura 4 se muestran los 20 modelos con los resultados más factibles de 100 corridas diferentes. El cuadro 2 muestra los resultados del modelo elegido ARDL (2, 0, 0). Ahí se muestra que los parámetros asociados a los precios rezagados en uno y dos periodos son positivos y estadísticamente significativos al 95% de confianza. Además, el parámetro asociado al índice de letalidad es positivo y estadísticamente significativo al 95% de confianza. Por el contrario, el tipo de cambio no tiene efecto sobre el precio de la mezcla mexicana de petróleo de exportación.

Cuadro 1
Prueba de raíz unitaria en niveles y diferencias

Variable	Coeficiente	Estadístico <i>t</i>	Prob.	Estacionariedad
FATALIDAD(-1)	-0.127866	-2.054968	0.0417	I(1)
D(FATALIDAD(-1))	-0.723210	-7.601898	0.0000	
MEZCLA(-1)	-0.029346	-1.676153	0.0957	I(1)
D(MEZCLA(-1))	-1.172837	-14.746730	0.0000	
USD(-1)	-0.047386	-2.650411	0.0089	I(1)
D(USD(-1))	-0.944243	-11.69876	0.0000	

Nota: se considera 90% de confianza.

Fuente: elaboración propia con Eviews 11 y datos de la Secretaría de Salud y Banxico.

Conclusiones

Los determinantes de los precios de la mezcla mexicana de petróleo son explicados por dos rezagos de la propia variable. Por tanto, los precios del pasado cercano influyen en el precio presente. Además, el índice de letalidad tiene un efecto positivo al precio de la mezcla, es decir, si incrementa el índice de letalidad, también aumenta el precio de la mezcla mexicana de exportación de petróleo. Mientras que el tipo de cambio, peso mexicano vs dólar estadounidense, no tiene un efecto significativo sobre el precio de MMEP.

En particular, el efecto positivo de la tasa de letalidad en el precio de la MMPE se puede explicar por optimismo futuro en los indicadores manufactureros en Asia y la Eurozona y la contracción prevista en la producción y los inventarios de crudo en Estados Unidos.

Cuadro 2
Modelo ARDL (2, 0 , 0)

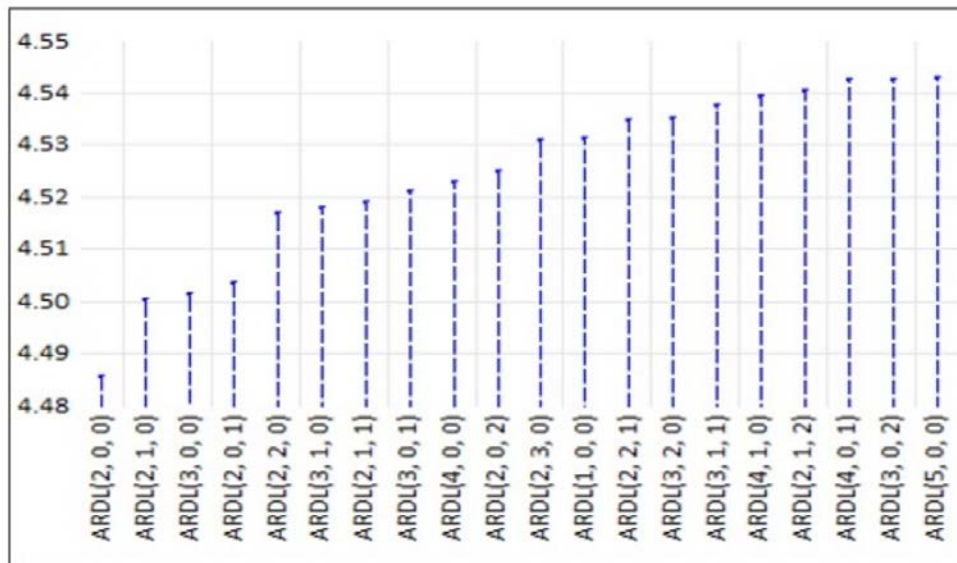
Variable	Coefficiente	Error estándar t	Estadístico t	Prob.
MEZCLA(-1)	0.750096	0.081093	9.249835	0.0000
MEZCLA(-2)	0.236436	0.083644	2.826704	0.0053
FATALIDAD	0.085954	0.037446	2.295428	0.0231
USD	0.148902	0.235674	0.631815	0.5285
C	-3.833147	5.891447	-0.650629	0.5163
R-cuadrada	0.955550	Media var. independiente		26.49684
R-cuadrada ajustada	0.954364	D. E. var. dependiente		10.27281
D. E. de la regresión	2.194529	Criterio Akaike		4.441538
Suma de res. cuadrados	722.3936	Criterio Schwarz		4.539713
Log verosimilitud	-339.2192	Criterio Hannan-Quinn		4.481415
Estadística F	806.1382	Estadística Durbin-Watson		1.990167
Prob (Estadística F)	0.000000			

Nota: los *p-values* y las subsecuentes pruebas no se toman en cuenta para la selección.

Fuente: elaboración propia con Eviews 11 y datos de la Secretaría de Salud y Banxico.

Por lo anterior, la dinámica del comportamiento del precio de la MMPE depende de las decisiones de la OPEP, pero también del tipo de cambio. Sin embargo, en los últimos meses el efecto del coronavirus ha tenido también un impacto positivo en el precio de la MMPE. Esta información es útil para hacer proyecciones de los ingresos no tributarios por venta de crudo y definir previamente los ajustes fiscales para reducir, en la medida de lo posible, déficits en el presupuesto de la nación.

Figura 4
Pruebas Hannan-Quinn



Fuente: elaboración propia con Eviews 11 y datos del Banco de México.

Referencias

- Albulescu, C. T. (2020), Coronavirus and oil price crash, manuscrito, Management Department, Politehnica University of Timisoara, Romania, disponible en <https://cutt.ly/bmlCzFU>.
- Apergis, E. y Apergis, N. (2020), Can the Covid-19 pandemic and oil prices drive the US Partisan Conflict Index? *Energy Research Letters* 1(1).
- Baldwin, R. y Weder di Mauro, B. (2020), *Economics in the time of Covid-19*, CEPR Press.
- Cardona-Arenas, C. D. y Serna-Gómez, H. M. (2020), Covid-19 and oil prices: Effects on the Colombian peso exchange rate, manuscript, Universidad Autónoma de Manizales y Universidad de Manizales Colombia, disponible en <http://www.ssrn.com>.

- Dickey, D. A. y Fuller, W. A. (1979), Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root, *Journal of the American Statistical Association* 74(366a): 427-443.
- Fondo Monetario Internacional (2020), Recession: When bad times prevail, disponible en <https://cutt.ly/ymlCIxc>.
- Iqbal, N.; Fareed, Z.; Shahzad, F.; He, X.; Shahzad, U. y Lina, M. (2020), The nexus between Covid-19, temperature and exchange rate in Wuhan city: New findings from partial and multiple wavelet coherence, *Science of The Total Environment* 729(10).
- OECD (2020), 2020 Policy Responses to Coronavirus (Covid-19). Covid-19 and global capital flows, 03 July 2020, disponible en <https://cutt.ly/jmlCDF5>.
- Organización Mundial de la Salud (2020), Alocución de apertura del Director General de la OMS en la Rueda de Prensa sobre la Covid-19 celebrada el 11 de marzo de 2020, disponible en <https://cutt.ly/smlCJPx>.
- Pesaran, M.; Yongcheol, S. y Smith, R. (2001), Bounds testing approaches to the analysis of level relationships, *Journal of Applied Econometrics* 16(3): 289-326.
- Sharif, A.; Aloui, C. y Yarovayac, L. (2020), Covid-19 pandemic, oil prices, stock market, geopolitical risk and policy uncertainty nexus in the US economy: Fresh evidence from the wavelet-based approach, *International Review of Financial Analysis* 70.

PARTE 2

Energía y crecimiento económico

CAPÍTULO 9

La geografía económica del precio de los combustibles en México: un análisis exploratorio espacial

Víctor Hugo Torres Preciado
Leonardo Rebollar Ruelas

La política de fijación de precios de los combustibles en México, particularmente de aquéllos con mayor demanda como la gasolina y el diésel, ha transitado por diferentes etapas en las que predomina una fijación de precios determinada por el sector público, hasta el esquema actual que otorga un cierto grado de flexibilidad para que el precio final se ajuste conforme a las fuerzas del mercado.

La flexibilidad en la determinación de los precios de las gasolina y diésel debe considerarse como un resultado del conjunto de modificaciones que formaron parte de la reforma energética aprobada a finales de 2013 en el país. En particular, debido a que esta reforma buscó

introducir la participación de terceros en las diferentes etapas de la cadena de valor, desde la exploración y extracción de petróleo y gas natural, hasta en su refinación, elaboración de petroquímicos, y también en el transporte, almacenamiento y distribución de hidrocarburos ([Clavellina, 2014](#)), fue necesario permitir que los particulares pudieran establecer los precios conforme a sus capacidades competitivas.

Sin embargo, debido a la exogeneidad de algunos componentes del precio final de estos combustibles, tales como los continuos ajustes del tipo de cambio del peso mexicano con el dólar estadounidense, la presencia de costos prácticamente fijos de transporte y logística, y el Impuesto Especial sobre Productos y Servicios (IEPS); el margen de ganancia de los distribuidores minoristas se convierte en el principal factor de flexibilidad que pudiera favorecer una conducta competitiva en precios.

Al respecto, el comportamiento de los precios de la gasolina y el diésel ha experimentado cambios notables, particularmente desde finales de 2017, cuando los estados del país completaron el proceso de transición gradual hacia el esquema de flexibilización de precios. De esta manera, en 2018 el precio regional promedio de los combustibles aumentó significativamente con un 16% aproximadamente, en el caso de la gasolina regular y el diésel, mientras el precio regional de la gasolina premium aumentó 13%. Por otro lado, aunque en 2019 el precio promedio regional de ambos energéticos aumentó en menor medida, su dispersión regional sí aumentó notablemente en este año. La dispersión regional del precio de la gasolina premium, por ejemplo, se duplicó con respecto al 2017 e inclusive algunos estados alcanzaron precios cercanos a los 22 pesos por litro (cuadro 1). En este sentido, aunque esta alza en los precios puede atribuirse en parte a las variacio-

nes en los factores exógenos que los determinan, el aumento observado en la dispersión regional de los precios de la gasolina y el diésel durante 2019, en un entorno de apreciación del tipo de cambio nominal, sugiere que los concesionarios parecen haber implementado estrategias competitivas de diferenciación en precios que modificaron los patrones de distribución e interacción espacial.

En particular, si bien las variaciones de algunos componentes que determinan el precio final de la gasolina y el diésel en el país se encuentran fuera del control de los concesionarios, por su naturaleza ejercen un efecto regional común en la fijación del precio. Los cambios en la distribución e interacción espacial reflejan, no solamente las diferencias regionales en los costos de transporte y logística, sino también la forma como los concesionarios han implementado la flexibilización de precios para diferenciarse del resto de competidores.

En este contexto, esta investigación tiene como propósito analizar los cambios en la geografía económica de los precios de la gasolina y el diésel en México, para identificar si han ocurrido cambios significativos en el patrón regional de la fijación de precios y examinar sus implicaciones económicas. Las preguntas específicas que se pretenden responder son: ¿Existe un patrón de interacción espacial en la fijación del precio de los combustibles? ¿Ha habido algún cambio en los patrones de interacción y distribución espacial asociado al proceso de liberalización del precio de los combustibles? ¿Cuáles son las implicaciones económicas de estos cambios en la geografía económica de los precios de los combustibles? Estas preguntas se responden mediante la implementación de la metodología denominada Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), que permite identificar los patrones de distribución espacial y las relaciones de dependencia espacial.

El documento se organiza de la siguiente manera: en la segunda sección se aborda la revisión de algunas contribuciones que analizan la determinación espacial de los precios; posteriormente, en la tercera sección se explican los aspectos metodológicos del enfoque AEDE; y enseguida, en la cuarta sección se analizan los resultados del análisis exploratorio espacial de los precios de la gasolina y el diésel en México. En la última sección se desarrollan las conclusiones.

Revisión de la literatura

Existe una amplia literatura dentro de la economía para buscar y dar explicación a los mecanismos de formación, fijación y distribución espacial de los precios; considerando un mercado de un único bien y con costos de producción igual a cero, [Hotelling \(1929\)](#) sugiere que los precios son fijados a nivel regional por las empresas distribuidas espacialmente con el objetivo de maximizar su beneficio, para hacer esto tendrán que establecer su precio basándose únicamente en los costos de transporte o búsqueda de los consumidores. Por otra parte, Enke (1951) sugiere que los precios son fijados por cada una de estas, considerando el precio del consumo local, los costos de importación, y los precios de consumo local de cada una de las regiones.

[Capozza y Order \(1978\)](#) consideran en los precios un sistema de competencia monopolista, las empresas maximizan su beneficio a través de la elongación o reducción de su radio de mercado, donde los precios se ajustan buscando la mayor superficie posible, pero solo la suficiente para que el costo de transporte no afecte su competencia espacial, lo que puede afectar su propio poder de mercado. Por otra parte, [Samuelson \(1952\)](#) sugiere que los niveles de comercio entre dis-

tintas regiones tienden a ajustar sus precios en función de los costos de transporte, los cambios en los niveles de oferta y demanda doméstica, y su interacción con las demás regiones; cualquier cambio en alguna de estas variables afecta los precios de equilibrio entre las regiones.

En el caso del estudio de la concentración espacial y la dispersión de precios para los mercados de venta de gasolina al por menor, [Barron et al. \(2004\)](#) al estudiar los precios y su distribución en dos condados del estado de Arizona y de California, identificaron que los precios de los combustibles de cada región mostraron similitudes significativas dentro del patrón de fijación de precios. Factores como la densidad de estaciones y el número de bombas por estación contribuyen a que los precios tiendan a ser más bajos, mientras que factores diferenciadores como que las estaciones ofrezcan servicios extra, por ejemplo, tiendas de conveniencia o un taller mecánico, contribuye a que sean más altos a través de su diferenciación en el mercado.

[Clemenzen y Gugler \(2003\)](#) encontraron que las gasolineras se ven incentivadas negativamente a incrementar sus márgenes de ganancias cuando la densidad de gasolineras por kilómetro cuadrado aumenta para el caso de Austria, así mismo, los precios tienden a ser menos dispersos en las regiones cuya densidad de gasolineras es alta; sin embargo, no encontraron una correlación significativa entre la concentración y el precio. Caso similar al que presenta [Meerbeek \(2003\)](#), quien señala que los precios de las estaciones de combustible en Bélgica se ven reducidos cuando las estaciones están muy concentradas en una región, cuando se encuentran localizadas en la periferia, así como cuando estas son contiguas. Por lo que se asume que factores como la concentración de la población y estaciones de servicio, así como los servicios anexos, modifican los patrones de fijación de precio.

Desde el plano empírico, el análisis del comportamiento de los precios regionales de las gasolinas y el diésel en México ha pasado desapercibido, en particular desde su liberalización; algunos estudios enfocan su atención en sus determinantes municipales o en sus implicaciones económicas, pero sin considerar la evolución de los patrones de distribución e interacción espacial. Al respecto, [Banxico \(2018\)](#), entre sus resultados obtenidos mediante la estimación de un modelo de panel para los municipios del país, reporta que los costos de transporte y logística son los principales determinantes de los precios para la gasolina regular, por encima de atributos como la densidad poblacional y la venta por estación. En un estudio reciente, [Sánchez *et al.* \(2015\)](#) estudian la demanda de gasolina por deciles de ingreso en México, entre sus principales hallazgos se encuentra la presencia de una relación inelástica entre el precio de la gasolina y su gasto en los diferentes deciles, concluyendo que un aumento en el precio de las gasolinas tendría un efecto desigual en el consumo por deciles de este energético.

En conjunto, se puede apreciar que una mayor flexibilidad en la determinación del precio de los combustibles en México puede derivar en cambios en la conducta competitiva de los distribuidores minoristas, asociada no solamente a factores macroeconómicos exógenos, sino también a las condiciones regionales en que se desenvuelven. De esta manera, si bien la infraestructura de transporte y logística disponible, así como la cercanía a los centros de distribución mayoristas, pueden ser relevantes en la fijación regional del precio; las decisiones de localización y la interacción espacial entre competidores, por su parte, se convierten en aspectos que estarían cobrando una mayor relevancia a medida que los concesionarios se adaptan a un mecanismo más flexible en la fijación de los precios de la gasolina y el diésel.

Aspectos metodológicos del análisis exploratorio¹

El análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) implica reconocer la posible presencia de dos aspectos que caracterizan a los datos espaciales: a) la dependencia espacial y b) la heterogeneidad espacial. En tal sentido, el AEDE se enfoca en analizar ambos aspectos de tal forma que sea posible detectar el patrón de distribución espacial, la forma de asociación espacial predominante y los diferentes regímenes espaciales ([Anselin, 1993](#)). En esta investigación se recurre al diagrama de dispersión de Morán, a los indicadores locales de asociación espacial (LISA en inglés) y los mapas condicionales.

Con respecto al diagrama de dispersión de Moran, elaborado por [Anselin \(1993b\)](#), tiene como base el estadístico I de Moran, este estadístico es una medida global de asociación espacial lineal entre un conjunto de unidades espaciales definidas en el vector y el promedio ponderado de los valores de las unidades espaciales contiguas o rezago espacial, W_y , donde W es una matriz de pesos espaciales. En tal sentido, la forma de asociación espacial así definida hace referencia a un proceso autorregresivo espacial como el mecanismo que genera dicha asociación. Una vez que se estandariza la matriz de pesos espacial, se define matricialmente de la siguiente manera:

$$I = \frac{y'Wy}{y'y} \quad (1)$$

¹ El análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) permite conocer, mediante métodos de estadística espacial, los patrones de distribución y asociación espacial que configuran la geografía económica de los precios de los combustibles.

Esta expresión implica que el estadístico se puede obtener mediante una regresión de W_y respecto a y (pero no al revés), a partir de Mínimos Cuadrados Ordinarios. Con base en esta observación, el autor concluye que es posible obtener un gráfico de dispersión con la variable W_y en el eje vertical y la variable y en el eje horizontal, que sirva para diagnosticar la presencia de un patrón de asociación espacial autorregresivo. Por su parte, su interpretación recae en el grado de ajuste de la línea de regresión; si por ejemplo el grado de ajuste es pequeño, entonces es posible interpretar este resultado como una indicación de inestabilidad local espacial, es decir, de la presencia de diferentes patrones de asociación espacial. El diagrama se representa en el plano cartesiano de cuatro cuadrantes, como se muestra continuación en la figura 1.

Los cuatro cuadrantes representan diferentes patrones de asociación espacial entre la variable y y su rezago espacial W_y . Las observaciones en los cuadrantes 1 y 3 representan una asociación espacial positiva, de tal forma que el valor de la unidad espacial i es similar al valor de las unidades espaciales vecinas. En particular, en el cuadrante 1 se representa una asociación espacial entre valores altos, mientras que en el cuadrante 3 se representa una asociación espacial entre valores bajos. Por su parte, las observaciones en los cuadrantes 2 y 4 representan una asociación espacial negativa, por ejemplo, en el cuadrante 2 la unidad espacial i tiene un valor alto y está rodeada por unidades espaciales con valores bajos. Similarmente, en el cuadrante 4 la unidad espacial i con un valor bajo está rodeada por unidades espaciales contiguas con valores altos.

Adicionalmente, el Diagrama de Dispersión de Moran permite detectar la presencia de observaciones extremas u observaciones de

influencia. Una observación extrema es aquélla que no sigue la tendencia espacial marcada por el estadístico I de Moran; de acuerdo con el autor, este tipo de observación puede interpretarse como una unidad espacial de estacionariedad local, e incluso indicar problemas de especificación de la matriz de pesos espacial. Asimismo, los datos extremos pueden ser analizados para medir el grado de influencia que tienen en el estadístico I de Moran.

Figura 1
Patrones de asociación espacial

4	1
3	2

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

Indicadores Locales de Asociación Espacial (LISA)

Estos indicadores forman parte del conjunto de medidas que reconocen la posibilidad de encontrar patrones de asociación espacial local e

inestabilidad espacial local. De acuerdo con [Anselin \(1995\)](#), estos indicadores tienen dos propósitos generales: 1) generalizar la idea detrás de los Estadísticos G para convertirla en una clase más amplia de indicadores de asociación espacial local, y 2) mediante la descomposición de los indicadores globales de asociación espacial (como el indicador I de Moran) en la contribución de cada observación, permitir la detección de observaciones extremas o de influencia. Este último aspecto es precisamente lo que distingue a los indicadores LISA de los estadísticos G y el Diagrama de Dispersión de Moran.

El autor menciona que los indicadores LISA facilitan la interpretación de datos espaciales en dos aspectos: 1) permiten conocer la significación estadística de aglomeraciones espaciales locales o clústeres alrededor de una ubicación local específica, y 2) permiten detectar observaciones caracterizadas por espacialidad no estacionaria (*hot spots*), la presencia de observaciones extremas y de observaciones de influencia. [Anselin \(1995\)](#) define los indicadores LISA como cualquier indicador que satisface las dos características siguientes: a) Un indicador LISA calculado para cada observación muestra el grado de significación estadística de la aglomeración espacial local de valores similares alrededor de cada una de dichas observaciones, b) La suma de los valores LISA obtenidos para cada observación es proporcional a un indicador global de asociación espacial. De manera formal, el autor establece que un indicador LISA para una variable y_i que pertenece a una ubicación i es un indicador L_i tal que se cumple la relación:

$$L_i = f(y_i, y_{J_i}), \quad (2)$$

donde y_i son los valores en la vecindad J_i de i ; dicha vecindad puede formalizarse mediante la matriz de pesos espacial W . El grado de

significación de la asociación espacial medida en L_i estaría definida por $Prob[L_i > \sigma_i] \leq \alpha_i$, donde σ_i es un valor crítico y α_i es un nivel de seudosignificancia, generalmente obtenido mediante simulaciones de Monte Carlo. Por su parte, la descomposición de un indicador global de asociación espacial en sus valores específicos LISA se establece formalmente mediante:

$$\sum_i \gamma \Lambda, \quad (3)$$

donde γ es un factor de escala y Λ es un indicador global de asociación espacial, por ejemplo, como el estadístico I de Moran. Por otro lado, los indicadores LISA o el indicador local de Moran se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j, \quad (4)$$

donde z_i y z_j son los valores de la observación i y de sus observaciones vecinas j ambas en términos de su desviación respecto a la media, y la sumatoria respecto a j implica que solamente los valores de las ubicaciones vecinas son consideradas en el cálculo. La interpretación de los indicadores LISA recae en el signo obtenido:

- Si $L_i > 0$ entonces existe evidencia de una aglomeración espacial local de valores similares. Esta aglomeración puede ocurrir en dos formas: a) la ubicación i tiene un valor alto y está rodeada por ubicaciones vecinas también con valores altos, y b) la ubicación i tiene un valor bajo y está rodeada por ubicaciones vecinas también con valores bajos.
- Si $L_i < 0$ entonces existe evidencia de una aglomeración espacial local de valores diferentes. Similarmente, esta aglomeración puede ocurrir en dos formas: a) la ubicación i tiene un valor alto y

está rodeada por ubicaciones vecinas con valores bajos, y b) la ubicación i tiene un valor bajo y está rodeada por ubicaciones vecinas con valores altos.

En tal sentido, los indicadores LISA únicamente pueden evidenciar la presencia de aglomeraciones espaciales locales positivas o negativas, pero no indican el tipo de aglomeración con base en la magnitud del valor entre la ubicación i y su vecindad. Por tal motivo, la aplicación complementaria de las distintas medidas de asociación espacial, en particular entre el Diagrama de Dispersión de Moran y los indicadores LISA, en la interpretación de los patrones de distribución espacial es altamente recomendable ([Anselin, 1995](#); [Páez y Scott, 2004](#)).

Bases de datos

La información acerca de los precios de la gasolina premium, la gasolina regular y el diésel se encuentra en frecuencia mensual desde enero de 2017 hasta diciembre de 2019; y se obtuvo de las bases de datos de la Comisión Reguladora de Energía. La única transformación que se hizo fue su corrección por estacionalidad, cuando fue necesario. Con respecto a la matriz de pesos espaciales, W , utilizada en el análisis exploratorio espacial para calcular el rezago espacial correspondiente, se impuso una estructura espacial denominada tipo “Queen” que por su flexibilidad facilita identificar las relaciones de dependencia espacial; en particular, esta estructura permite asignar una relación de vecindad entre un estado específico con los estados colindantes cuando comparten un punto limítrofe.

Adicionalmente, en el cuadro 1 se presenta un conjunto de estadísticas descriptivas para los tres tipos de precios. En este se observa

que el precio medio de los tres tipos de combustible se incrementó entre 2017 y 2019, particularmente en 2018 cuando se experimentó el mayor incremento anual. Los precios más elevados corresponden al año 2019, cuando algunos estados alcanzaron precios cercanos a los 22 pesos por litro, en el caso de la gasolina premium y el diésel. También resalta el aumento en la desviación estándar durante 2019, con respecto a los dos años anteriores, indicando una fuerte diferenciación regional en el nivel de precios de los combustibles.

Cuadro 1
Estadísticas descriptivas para el precio de los combustibles,
2017-2019

Estadístico	Gasolina premium			Gasolina regular			Diésel		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Promedio	17.61	19.86	20.76	15.82	18.35	19.46	16.85	19.48	21.17
Desv. est.	0.38	0.49	0.79	0.46	0.59	0.87	0.23	0.28	0.42
Máximo	18.20	20.51	21.85	16.34	19.06	20.49	17.23	20.05	21.70
Mínimo	16.21	18.07	18.17	13.94	15.97	16.39	16.29	18.97	20.07

Nota: el promedio, la desviación estándar y los valores mínimos y máximos fueron obtenidos a partir de la información estatal.

Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

La distribución e interacción espacial del precios de las gasolinas y el diésel

Este apartado se compone de la revisión de la medida de autocorrelación espacial mediante la I de Moran, donde se explica los grados de

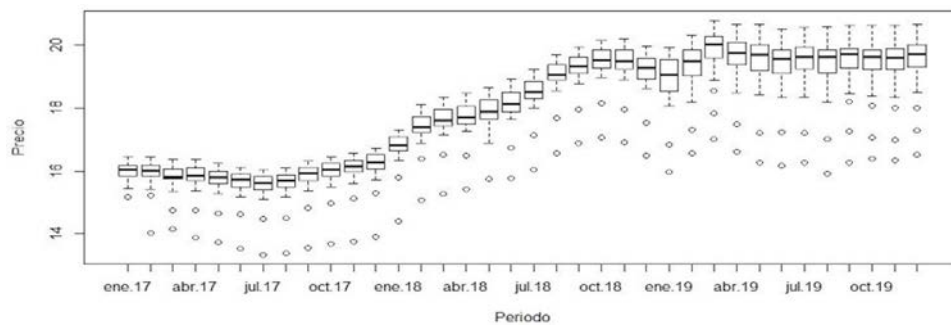
asociación espacial de los precios de los combustibles para México; en la segunda parte se muestra un breve análisis de las zonas calientes y frías del país mediante un mapa que refleja el estadístico local I de Moran; por último, se muestra una serie de mapas condicionales.

En las figuras 2, 3 y 4 podemos apreciar la evolución de los precios de los combustibles para el periodo de análisis enero 2017 a diciembre de 2019, esto como una serie de diagramas de caja y bigotes, lo denota la distribución de los precios mes con mes a nivel nacional, siendo la línea negra dentro de la caja la media del precio de mercado por litro de combustible. Se logra apreciar un comportamiento similar en las 3 figuras, durante el año 2017 los precios crecieron lentamente, sin embargo durante el año 2018 los precios empezaron a crecer, lo que sesgó los precios, poniendo a la mayoría de los estados por encima de la media nacional, mientras que durante el año 2019 los estados tendieron a tener precios por debajo de la media nacional, pero a su vez también aumentó la dispersión de los datos, por lo que la diferencia entre el precio más alto y el más bajo creció; aunque para todos los casos la mayor parte de los estados estaban concentrados dentro del primer y segundo cuartil.

En las figuras 5, 6 y 7 se muestra el diagrama de autocorrelación espacial de la I de Moran para el precio de mercado gasolina regular, premium y diésel en México en el eje de las abscisas y en las ordenadas el rezago espacial de la misma variable, ambas variables estandarizadas. Para la gasolina regular durante los años 2017 a 2019 podemos comprobar la existencia de autocorrelación espacial positiva, lo que marca la existencia de dos patrones a nivel nacional de asociación espacial, el primero será el de los estados del cuadrante 1, cuyos precios son altos y estos a su vez tienen vecindad con estados que también

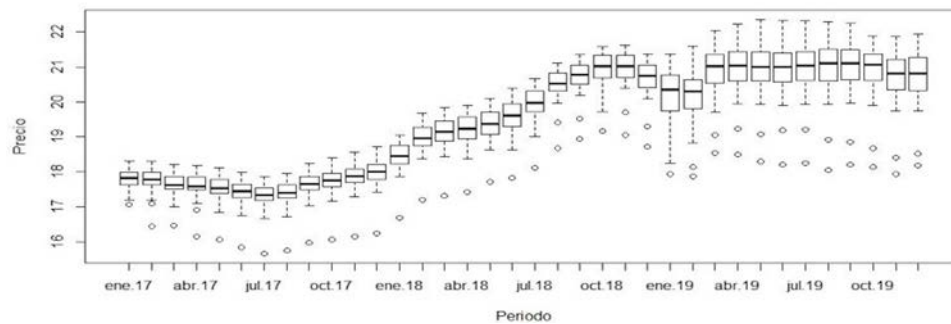
tienen precios altos, y el segundo patrón de asociación espacial sería el ubicado en el cuadrante 3, los estados cuyos precios son más bajos que la media nacional y estos a su vez tienen vecindad con estados cuyos precios son inferiores a la media nacional (figura 5).

Figura 2
Precio de la gasolina regular de enero de 2017 a diciembre de 2019



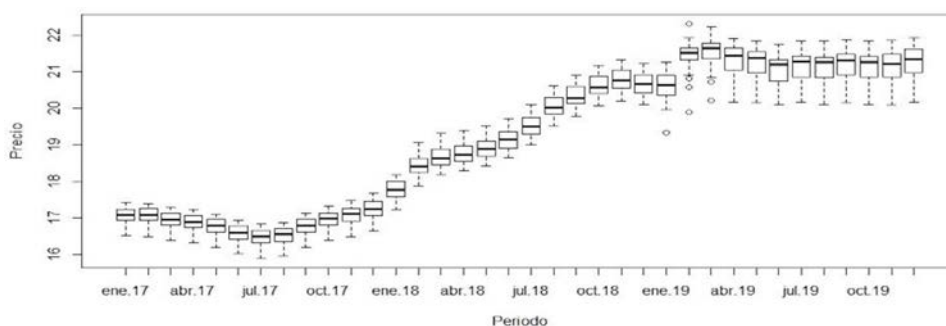
Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

Figura 3
Precio de la gasolina premium de enero de 2017 a diciembre de 2019



Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

Figura 4
Precio del diésel de enero de 2017 a diciembre de 2019



Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

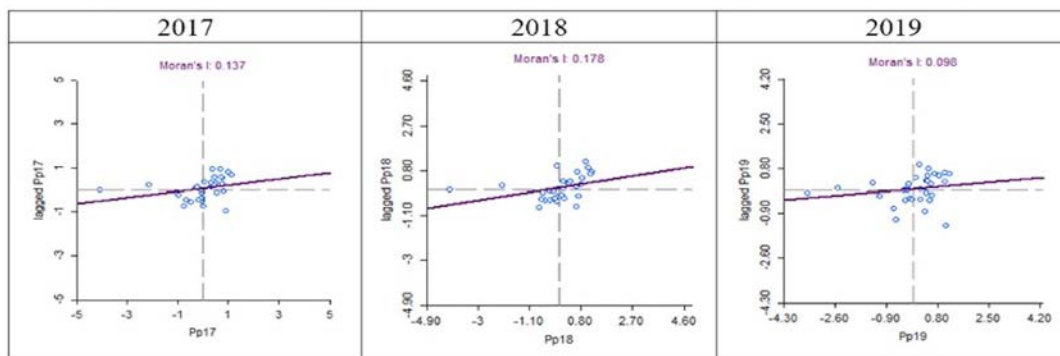
Durante este periodo podemos ver cierta tendencia a debilitarse la pendiente del estadístico de la I de Moran; en 2019 este estadístico fue de 0.098, siendo aún significativo; por lo que con el tiempo podríamos ver la presencia de múltiples patrones de asociación espacial a nivel nacional. El comportamiento de asociación espacial del cuadrante 1 corresponde a los estados pertenecientes al centro occidente, occidente y los estados de Baja California y Baja California Sur; mientras que el comportamiento de asociación espacial del cuadrante 3 corresponde a los estados del Golfo de México, Sur, así como Sonora. La tendencia del estadístico de la I de Moran a debilitarse, posiblemente se vincule a dos factores, primero la descomposición del cuadrante 3, ya que los estados que pertenecían a éste inicialmente, ahora se comportan de una manera distinta; y segundo por la presencia de valores atípicos siendo estos los estados de Tamaulipas y Chihuahua.

En el caso de la gasolina premium se puede observar la presencia de asociación espacial positiva a través del diagrama de dispersión

de Moran presentado en la figura 6 para todo el periodo de análisis. En este conjunto de gráficas podemos apreciar una tendencia similar a la que vimos con la gasolina regular, el estadístico de la I de Moran tiende a debilitarse conforme pasa el tiempo, teniendo en 2019 su valor más bajo de 0.083, aun siendo estadísticamente significativo. El patrón de asociación espacial que corresponde al cuadrante 1, son los estados pertenecientes a un clúster compuesto por las regiones del centro, occidente y parte del noreste del país, mientras que los estados que pertenecen al patrón del cuadrante 3 son los estados del Golfo de México, el Sur y Sonora.

Figura 5

Diagrama de dispersión de I de Moran del precio de mercado promedio anual de la gasolina regular, 2017-2019



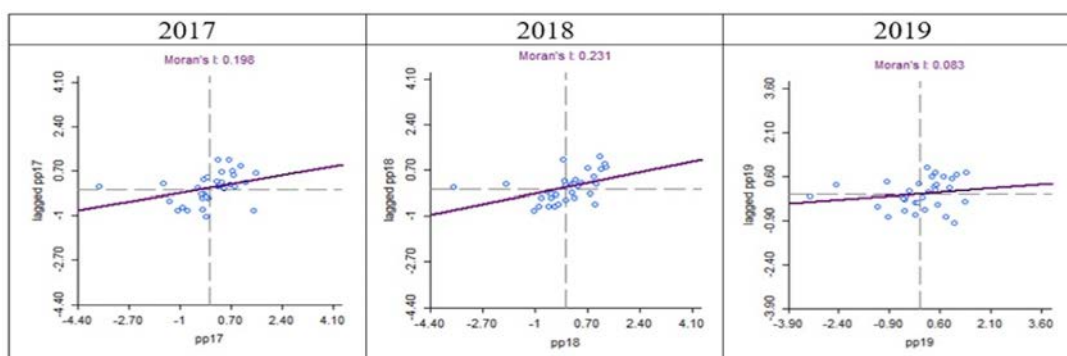
Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

El posible debilitamiento del coeficiente de autocorrelación espacial para este caso se puede deber a un cambio en los comportamientos de asociación espacial, ya que los comportamientos de los cuadran-

tes 1 y 3 tienden a tomar otros patrones de asociación espacial. Asimismo, los estados de Chihuahua y Tamaulipas poseen valores atípicos, al igual que en el caso de la gasolina regular en la gasolina premium sus precios tienen valores extremos muy bajos con respecto al resto del país, lo que contribuye a la aparición de patrones de heterogeneidad espacial.

Figura 6

Diagrama de dispersión de I de Moran del precio de mercado promedio anual de la gasolina premium, 2017-2019



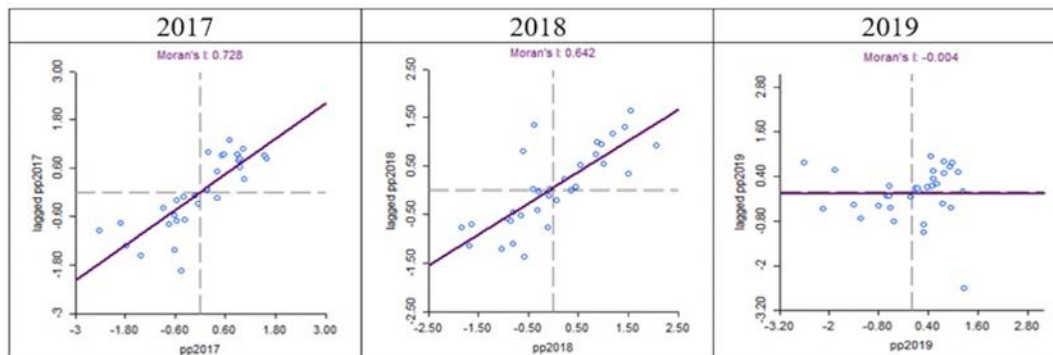
Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

En el caso del comportamiento del estadístico de autocorrelación espacial I de Moran, el combustible diésel es relativamente particular, tal como se aprecia en los diagramas de dispersión mostrados en la figura 7. Se logra ver que para los años de 2017 y 2018 hay una correlación fuerte y positiva, lo que describe la existencia de los dos patrones de comportamiento de asociación espacial de los cuadrantes 1 y 3 antes mencionados; pero esto cambia radicalmente para el año 2019, en el que las regiones que cuentan con el patrón de asociación espacial

del cuadrante 1 son los estados de todo el norte del país y los estados pertenecientes a la región centro occidente, a excepción de Tamaulipas y San Luis Potosí. Mientras que los pertenecientes al patrón del cuadrante 3 son todos los estados excluidos del patrón antes mencionado, sin contemplar a Guerrero. En 2019 el estadístico I de Moran se vuelve estadísticamente no significativo, por lo que podemos interpretarlo como la presencia de heterogeneidad espacial, esto debido posiblemente a un cambio en el comportamiento de los mercados locales.

Figura 7

Diagrama de dispersión de I de Moran del precio de mercado promedio anual del diésel, 2017-2019



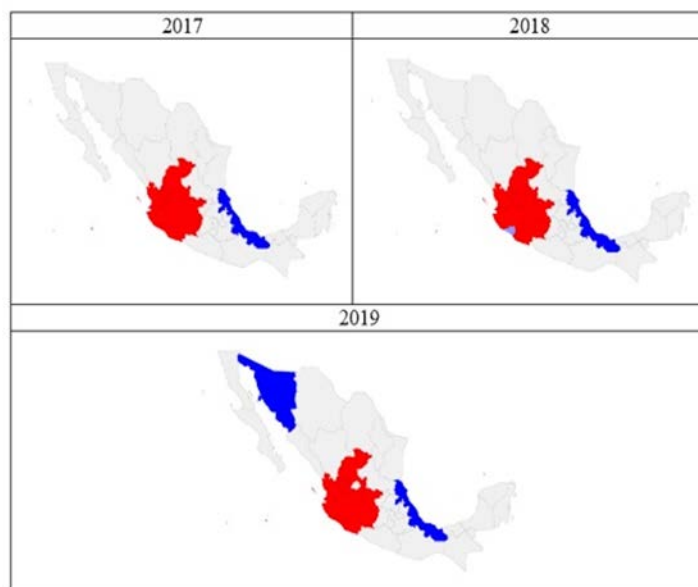
Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

En el estadístico I local de Moran para el caso de la gasolina regular que resulta en los mapas mostrados en la figura 8, podemos diferenciar un clúster en la región occidente, en cuyos estados el precio es más alto que la media nacional y sus vecinos también los tienen (color rojo). Existe la presencia de un segundo patrón local de asociación espacial, del cual sólo resulta estadísticamente significativo el estado

de Veracruz y posteriormente Sonora. Cabe mencionar que al igual que en el estudio de autocorrelación anterior, hay una marcada tendencia a la aparición de distintos patrones de asociación espacial con el paso del tiempo, lo que indica la existencia de nuevos patrones de conducta económica en la formación de los niveles de precios.

Figura 8

Estadístico I de Moran para el precio de mercado promedio de la gasolina regular (2017-2019)



Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

Para el caso de la gasolina premium, podemos observar la presencia de los mismos patrones de asociación espacial que vimos tanto en el estadístico I de Moran para el caso de la gasolina regular, como para el propio caso de la gasolina Premium; por lo que podemos en-

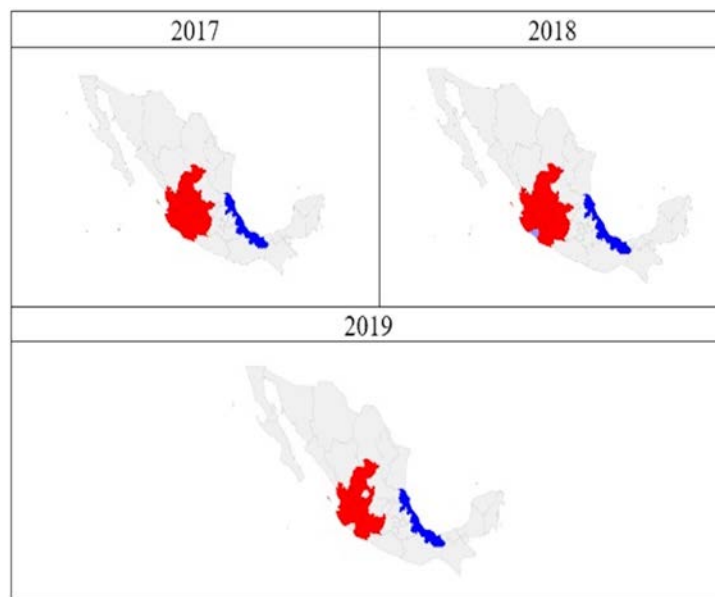
contrar que la presencia de una región caliente dentro de los estados pertenecientes a la región occidente, el cual sigue un patrón similar al caso de la gasolina regular. Estos estados conforman una región en el país donde los precios en promedio son más altos, posiblemente debido a la presencia de sectores económicos específicos, tales como el comercio y el transporte (figura 9).

Al igual que la gasolina regular, en los tres años el estado de Veracruz se vuelve un punto frío donde los niveles de precio promedio de la gasolina premium son más bajos y sus vecinos también, lo que puede estar asociado a un posible bajo nivel de demanda de gasolina de este tipo. Con el paso del tiempo y para este periodo, hay debilitamiento de la región caliente, ya que pasó de 7 a sólo 4 estados cuyo comportamiento es estadísticamente significativo.

Para el caso del diésel, el estadístico I local de Moran (figura 10) muestra una evolución continua de las regiones de precios en el país. Para 2017 podemos ver un par de regiones de precios, la primera en rojo corresponde a una región caliente, casi con una forma triangular cuyos vértices son Sonora, Jalisco y Coahuila; la segunda región, siendo ésta fría, la conforman los estados de Hidalgo, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche y Quintana Roo. Ante el incremento de precios en los combustibles visto durante el año 2018, lo que abonó a la aparición de otros patrones de asociación y comportamiento espacial.

El primero fue la región caliente que corresponde a la misma del año 2017, sin embargo esta asociación se debilitó perdiendo miembros con la aparición de un par de estados cuyo comportamiento es tener precios por debajo de la media nacional, y comparte vecindad con Colima y Chihuahua, estados de precios altos, mientras que se mantiene la región fría ubicada en el Golfo de México y Sur.

Figura 9
Estadístico I de Moran para el precio de mercado promedio de la gasolina premium
(2017-2019)



Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

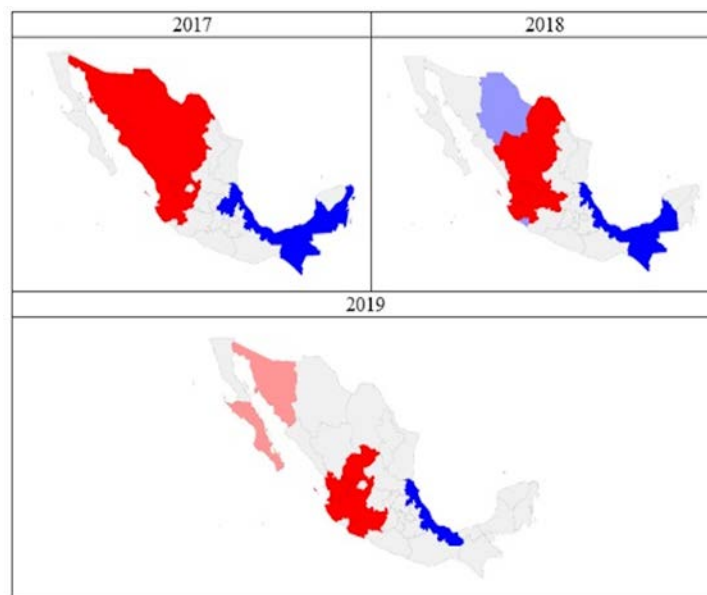
Como se había visto con el estadístico I de Moran, para el año 2019 pudimos ver que la asociación espacial a nivel nacional ya no era estadísticamente significativa, lo que se podía asociar con la presencia de heterogeneidad espacial. Lo anterior se comprueba en parte en el mapa que corresponde al año 2019, con tres comportamientos distintos asociados al norte, centro y sur del país.

Los mapas condicionales presentados para los casos de la gasolina regular, premium y diésel nos sirven como herramienta para

encontrar patrones de sensibilidad de los cambios de la demanda de estos con respecto al precio, por lo que cada uno tiene en el eje de las ordenadas el precio, en el eje de las abscisas el volumen de ventas, ambas como la tasa de crecimiento durante el año y en color naranja se muestran los estados con precios de los combustibles más altos, mientras que en amarillo los que tienen precios más bajos con respecto a la media.

Figura 10

Estadístico I de Moran para el precio de mercado promedio del diésel (2017-2019)



Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

Para el caso de la gasolina regular (figura 11), en el primer cuadrante hay estados cuyos precios crecieron a un ritmo por encima de la media nacional, al igual que su volumen de ventas. Se observa que

los estados de Baja California y Baja California Sur son afectados los más, al mantener precios y tasas de crecimiento altas en los mismos; los estados cambian su comportamiento ante el incremento de precios que se dio en el año 2018 y se mantienen aquellos con nivel de precio bajo tales como Campeche, Yucatán y Guerrero. En el siguiente año, Durango y Baja California Sur mantuvieron el comportamiento de este cuadrante a pesar de los precios altos del combustible.

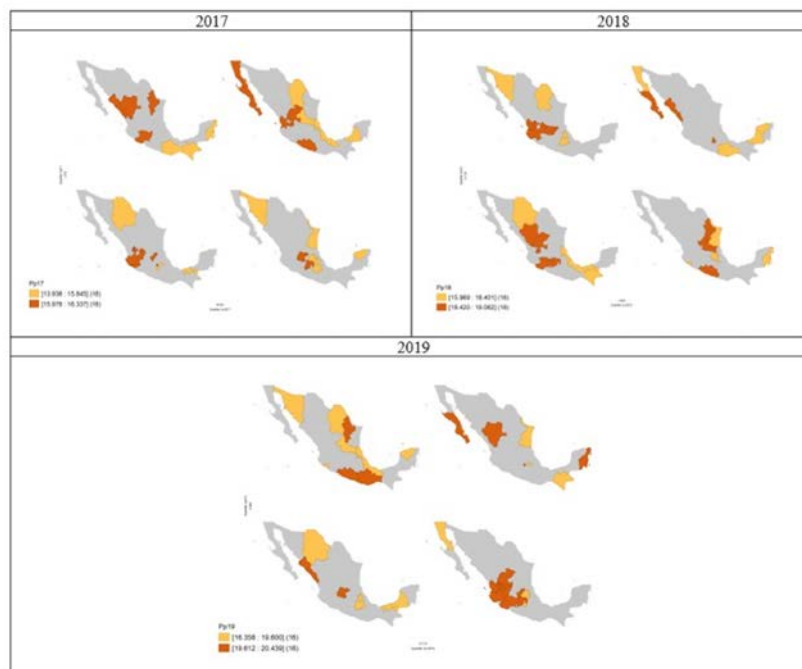
El cuadrante 2 muestra el grupo de estados donde los precios crecieron a una tasa inferior a la media nacional, pero mantuvieron tasas de crecimiento en el volumen de ventas mayores a la media nacional; estos se caracterizan por aprovechar los bajos precios e incrementar la demanda. Durante el año 2017 los estados del centro del país incrementaron su nivel de demanda a un ritmo mayor a la media nacional, al haber incrementos precios sustanciales en 2018 tendieron a contraer su demanda.

El cuadrante 3 se refiere a los estados cuyos precios y volumen de ventas crecieron durante el año a una tasa menor que la media nacional, por lo que estos estados se vuelven los más sensibles a los incrementos de precios al tener una menor demanda. El estado de Chihuahua, al tener precios bajos y estables por todo el periodo de análisis mantiene niveles de demanda baja, por tanto los estados con los que mantiene vecindad como Sonora, Coahuila, Durango y Sinaloa, tendieron a tener tasas de crecimiento en el volumen de venta inferiores a la media nacional, siendo estas negativas durante el año 2018 y 2019.

En el cuadrante 4 nos encontramos con los estados cuyos precios crecieron por encima de la media nacional, pero tuvieron tasas de crecimiento del volumen de ventas inferiores a la media nacional. Los estados al estar sometidos a incrementos de precios más agresivos,

tienden a modificar el comportamiento de la demanda de los que se ubican en este cuadrante; por ejemplo, Durango y Michoacán al haber incrementados bruscamente sus precios en 2017 y pagar precios más altos, en 2018 redujeron su demanda, al igual que Chiapas. En el 2018 parte de los estados de la región centro occidente al tener tasas altas en el crecimiento de los precios, con tasas más bajas que la media nacional en 2019 tendieron a incrementar su volumen de demanda por encima de la media.

Figura 11
Mapa condicional para la gasolina regular, 2017-2019



Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

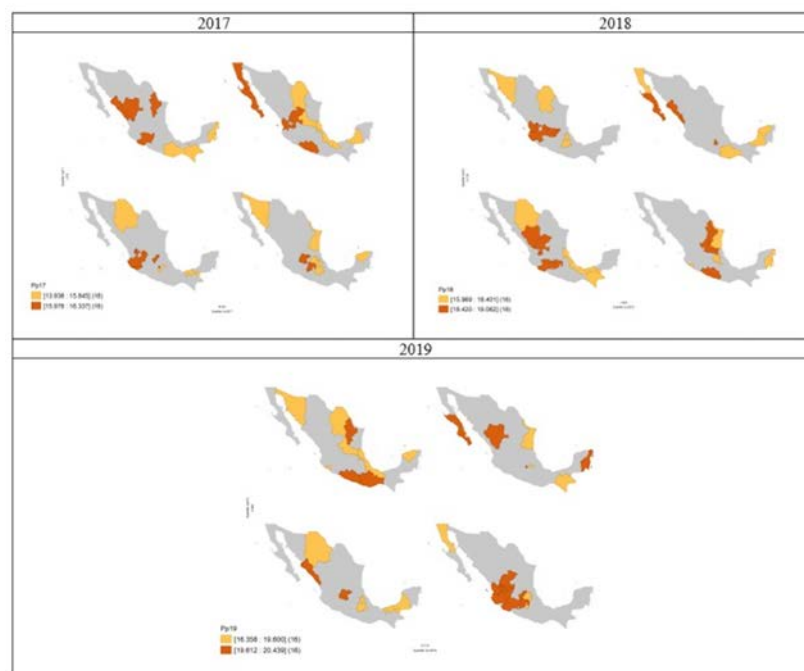
Con respecto a la gasolina premium, en el cuadrante 1 de la figura 12 se observa que los estados del centro norte, junto con Baja California y Baja California Sur, junto con Guerrero, tendieron a incrementar su demanda a un ritmo superior a la media nacional ante el incremento en el precio superior a la media, cuya tendencia no se mantuvo en el año 2018, ya que ante un choque en la subida de precios que suprimieron su demanda junto con la mayoría de los estados del norte del país. Ante cierto grado de estabilidad de los precios en el año 2019, podemos ver la formación de un gran bloque que incrementó la demanda por encima de la media nacional; sin embargo, los estados cuyos precios crecieron más fueron los de Durango, Coahuila, Nuevo León y Jalisco.

En el cuadrante 2 se aprecian diferentes regiones en las que se presenta este comportamiento durante el año 2017, pero ante la subida de precios del año 2018 podemos ver que las regiones que mantienen tasas de crecimiento de la demanda por encima de la media nacional son principalmente estados costeros del Golfo de México, pese a tener precios más bajos con respecto al resto del país, lo que los mantiene parcialmente protegidos al alza de precios. En el año 2019, los estados del centro occidente, centro y centro norte, que incrementaron la demanda de la gasolina premium por encima de la media nacional, se caracterizan principalmente por tener precios más altos que la media nacional, a excepción de Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo y Morelos.

El tercer cuadrante muestra los estados más sensibles al incremento de precios que tienen tasas inferiores de crecimiento en el volumen de ventas que la media nacional; estados del centro del país, junto con Chihuahua, Tabasco y Yucatán, ante incrementos fuertes de

precios en el año 2018 o a mantenerse en el mismo cuadrante o tener precios más volátiles como el caso de Puebla, Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato y Yucatán. Durante 2019 los estados más sensibles fueron Baja California, Chihuahua, Puebla, Tabasco y Campeche, esto a pesar de que fueron los que pagaron un precio más bajo por cada litro de gasolina premium.

Figura 12
Mapa condicional para la gasolina premium, 2017-2019



Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

Para el último de los cuadrantes podemos ver que los estados que tuvieron tasas de crecimiento de precios superiores a la media

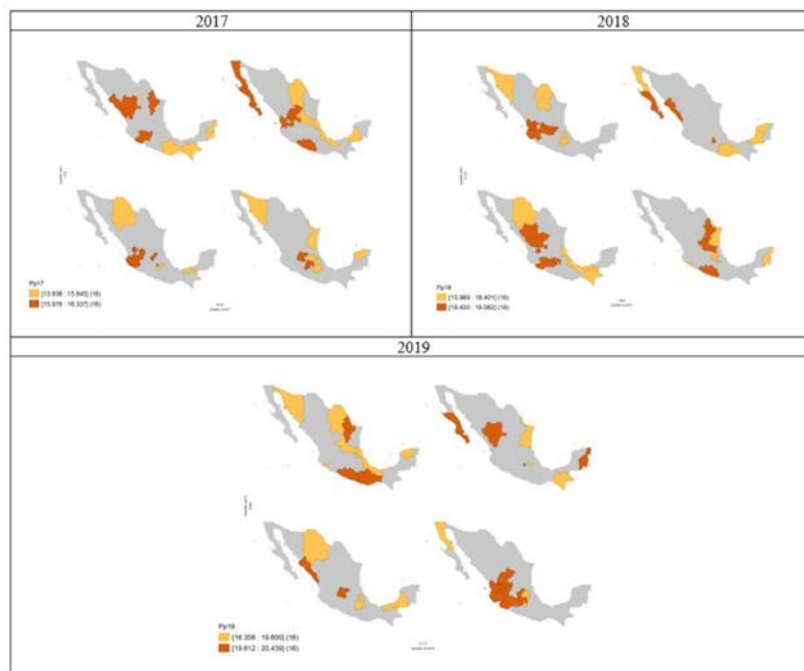
nacional, mantuvieron tasas negativas de crecimiento del volumen de ventas por debajo de la media nacional; a excepción de los estados de Veracruz, Morelos y Oaxaca, los cuales tendieron a incrementar su demanda por encima de la tasa media nacional para el año 2018. En ese mismo año, los estados de este cuadrante provienen principalmente de una reducción de la demanda ante las altas tasas de crecimiento de los precios que sufrieron durante el 2017 y 2018, como los casos de Baja California, Coahuila, Zacatecas y Nayarit. En el año 2019 los estados vinculados con el pacífico de México tienen precios más altos y mantuvieron tasas de crecimiento de precios altos durante el periodo, por tanto, no pudieron incrementar su demanda de volumen encima de la media; mientras que los estados de Sonora, Veracruz y Yucatán tuvieron precios bajos pero tasas altas de crecimiento de precios, por lo que tendieron a crecer menos su demanda que la media.

Con relación al precio del diésel, en el cuadrante 1 de la figura 13 los estados del norte del país tendieron a incrementar sus precios por encima de la media nacional, sin embargo, los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Coahuila, Tamaulipas, junto con Nayarit, Zacatecas, San Luis Potosí y Campeche incrementaron su volumen de ventas a un ritmo mayor a la media nacional, sin embargo ante el incremento de los precios en el año 2018 sólo los estados del noreste del país mantuvieron este comportamiento, mientras que el resto tendió a reducir su demanda. Por ultimo en el año 2019 podemos ver que estados como Baja California y Baja California Sur tendieron a incrementar su volumen de ventas por encima de la media nacional.

En el segundo cuadrante los estados en el centro, sur y Golfo de México, comparten el mismo comportamiento de la demanda ante bajas tasas de crecimiento de los precios durante el 2017, siendo los

estados más occidentales los de mayores precios. Mientras que en el año 2018, los estados con niveles de precios más bajos tienden a incrementar su volumen de ventas a un ritmo mayor que la media nacional. Por último, en el año 2019 ante un escenario de relativa estabilidad de precios, se constituye un grupo que sigue este mismo patrón de comportamiento.

Figura 13
Mapa condicional para el diésel, 2017-2019



Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Reguladora de Energía.

Para el tercer cuadrante podemos ver que durante el año 2018 algunos estados del centro occidente y sur empiezan a agruparse ante el

incremento de los precios, hasta formar un solo grupo desde Michoacán hasta Sonora y Chihuahua, con excepción de los estados de Sinaloa y Colima, junto con algunos estados del Golfo de México y Chiapas. En el año 2019 podemos ver un grupo de estados mayoritariamente de precios bajos cuyos periodos anteriores habían tenido tasas altas de crecimiento de los precios, que al final tendieron a tasas de crecimiento del volumen de ventas del diésel inferiores a la media nacional.

En el cuarto cuadrante el comportamiento de una elevada tasa de crecimiento de los precios y baja tasa de volumen de ventas, está asociado a diferentes regiones del país; la más relevante podría ser la región compuesta por Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sinaloa y Durango, ya que estos en su mayoría suelen tener un crecimiento en el volumen de ventas inferior a la media nacional para todo el periodo, lo que sugiere un comportamiento deprimido en la demanda del diésel en el Norte del país, a su vez, se adhieren los estados del centro y centro norte del país.

Conclusiones

En esta investigación se analizan los cambios en la geografía económica de los precios de la gasolina y el diésel para determinar si, en un entorno de mayor flexibilidad en el que los concesionarios pueden recurrir a sus márgenes de ganancias para competir en precios, las estrategias de determinación del precio de estos energéticos siguen un patrón de distribución e interacción espacial global, o difieren regionalmente en el país. Los resultados del análisis exploratorio espacial mediante la metodología AEDE, sugieren que las estrategias de determinación de precios de la gasolina y el diésel estarían transitando de una estrategia

con un patrón de fijación de precios global, hacia una estrategia de precios con rasgos regionales e inclusive locales.

Esta transición se observa a partir de una disminución en los coeficientes de autocorrelación espacial global I de Moran, para los precios de los combustibles durante los tres años estudiados. En particular para el precio del diésel, cuyo patrón de interacción espacial global en su determinación parece haber desaparecido en el país. Las implicaciones que estos hallazgos tienen para la geografía económica del precio de ambos combustibles, y el funcionamiento de las economías regionales, son amplias. Mientras tanto, la presencia de un patrón de autocorrelación global significaba que una variación en el precio de un tipo de combustible en alguna región del país tendía a ajustarse similarmente en el resto de las regiones, conduciendo posiblemente a una diferenciación de precios menos marcada, pero competitivamente más limitada. La transición hacia una interacción más local o regional implica que los cambios de precios en una región tendrían efectos de ajuste, principalmente en regiones vecinas, como resultado de un aumento en la competencia de precios, principalmente por parte de los concesionarios, conduciendo a un incremento en la heterogeneidad regional en los precios de los combustibles.

Debido a que los diferentes componentes que determinan el precio final de mercado de la gasolina y el diésel son exógenos, tales como las variaciones en el tipo de cambio, los impuestos, los costos de transporte y de logística, son los concesionarios quienes ajustarían sus márgenes de ganancia para inducir disminuciones en los precios que permitan atraer más compradores. En tal sentido, si bien una mayor interacción espacial de tipo local conducirá hacia una mayor heterogeneidad regional en los precios de mercado de la gasolina y el diésel

en el país, también es posible que algunos estados puedan beneficiarse de la competencia en los precios, que esperamos se consolide entre los concesionarios. No obstante, debe reconocerse que habrá regiones donde el precio de los combustibles será mayor debido a los costos de transporte y logística.

Referencias

- Banco de México (2018), Reporte sobre las economías regionales (extracto), octubre-diciembre 2017, disponible en <https://cutt.ly/emzQSnQ>.
- Barron, J.; Taylor, B. y Umbeck, J. (2004), Number of sellers, average prices, and price dispersion, *International Journal of Industrial Organization* 22: 1041-1066.
- Capozza, D. y Van Order, R. (1978), A generalized model of spatial competition, *American Economic Review* 68(5): 896-908.
- Clavellina, J. (2014), Reforma energética ¿Era realmente necesaria? *Economía Informa* 385: 3-45.
- Clemenzen, G. y Gugler, K. (2006), Locational choice and price competition: some empirical results for the Austrian retail gasoline market, *Empirical Economics* 31: 291-312.
- Enke, S. (1951), Equilibrium among spatially separated markets: Solution by electric analogue, *Econometrica* 19(1): 40-47.
- Hotelling, H. (1929), Stability in competition, *The Economic Journal* 39(153): 41-57.
- Roehner, B. (1995), Evolution of urban systems in the Pareto plane, *Journal of Regional Science* 35(2): 277-300.
- Samuelson, P. (1952), Spatial price equilibrium and linear programming, *The American Economic Review* 42(3): 283-303.
- Sánchez, A.; Islas, S. y Sheinbaum, C. (2015), Demanda de gasolina y la heterogeneidad de los ingresos de los hogares en México, *Investigación Económica* 74(291): 117-143.
- Van Meerbeeck, W. (2003), Competition and market conditions on the Belgian retail gasoline market, *De Economist* 151: 369-388.

CAPÍTULO 10

Convergencia estocástica en el consumo de energía industrial en México

Miguel Ángel Tinoco Zermeño
Renato Francisco González Sánchez

El estudio de los efectos del consumo de energía en la actividad Económica tomó fuerza desde finales de 1970 con el artículo de [Kraft y Kraft \(1978\)](#). En dicho artículo, los autores aplicaron la prueba de causalidad desarrollada por [Sims \(1972\)](#), con la cual encontraron que la causalidad de los insumos de energía nominales hacia el producto nacional bruto es unidireccional. A partir de los resultados, muchos investigadores se dieron a la tarea de estudiar la relación de causalidad entre energía y producto interno bruto (PIB), de la cual derivaron otras líneas de investigación como la eficiencia energética basada en la convergencia estocástica en el consumo de energía.

¿Qué se entiende por convergencia estocástica? [Akram *et al.* \(2020\)](#) explican que la noción de convergencia proviene de la teoría del crecimiento neoclásico de Solow, y que trabajos posteriores exploraron la convergencia en términos del crecimiento de la actividad económica o productividad, entre regiones y países, o al interior de cada nación. La convergencia estocástica se fundamenta en las series de tiempo más que en la convergencia beta que se apoya en datos de sección cruzada, pero que tiene algunas deficiencias. [Bernard y Durlauf \(1995\)](#) argumentan que con los datos de sección cruzada no es posible distinguir las dinámicas de corto plazo de los comportamientos de largo plazo de las economías, ni tampoco la gran variedad de casos entre la hipótesis nula de que ningún país converge y la alternativa de que todos convergen.

El área de investigación de convergencia estocástica busca determinar la estacionariedad de las series de tiempo a partir de pruebas de raíces unitarias lineales o no lineales con cortes estructurales. La estacionariedad de una serie de tiempo tiene fuertes implicaciones económicas ([Hendry y Juselius, 2000](#)). Por un lado, si una variable no es estacionaria (contiene raíz unitaria en niveles), las otras variables relacionadas heredarán la no estacionariedad y la transmitirán al resto de la economía. Por ejemplo, si los precios del petróleo no son estacionarios en México, los choques internacionales a los precios se dispersarán al resto de los sectores económicos y afectarán a los precios y la producción. Un ejemplo adicional es en finanzas, ya que “...si los precios accionarios siguen un proceso de caminata aleatoria, cualquier choque a los precios será permanente” ([Narayan y Smyth, 2007: 339](#)).

El objetivo de este capítulo consiste en evaluar la eficiencia del consumo de energía industrial en México mediante pruebas de con-

vergencia condicional estocástica para el periodo de 1965 a 2016. En primer lugar, desglosamos el consumo en el sector industrial en 16 ramas que corresponden a petroquímica de Pemex, siderurgia, química, azúcar, cemento, celulosa y papel, minería, vidrio, fertilizantes, cerveza y malta, aguas envasadas, automotriz, construcción, hule, tabaco y otras ramas. En segundo lugar, aplicamos las pruebas de existencia de cortes estructurales. Una vez que pudimos determinar si las series contenían uno, dos o ningún corte estructural, aplicamos las pruebas de raíz unitaria LM y RALS-LM. Éstas detectan cortes estructurales endógenos con cambios en tendencia y errores no normales para aumentar su poder. En este sentido, la conclusión general de esta investigación es que el consumo energético del sector industrial en México es ineficiente, porque solamente pudimos determinar la estacionariedad del consumo relativo per cápita en siete de las 16 ramas industriales: petroquímica de Pemex, azúcar, minería, automotriz, construcción, hule y tabaco.

La estructura del resto del documento es la siguiente. La sección dos discute los antecedentes teóricos relacionados con la convergencia estocástica. En la sección posterior describimos la política y reformas energéticas implementadas en México desde los años 70, para cerrar con la descripción de los datos. La metodología econométrica se describe en la cuarta sección, y en la quinta los resultados. La última sección presenta las conclusiones.

Antecedentes econométricos

En el estudio de la convergencia estocástica se pueden distinguir dos grandes niveles: los estudios enfocados a varios países con panel de datos y los estudios dedicados a países individuales. Otra característica

sobresaliente es que los estudios se basan en una gran variedad de enfoques econométricos. En esta sección, hacemos una revisión muy selectiva de los principales trabajos relacionados con la convergencia estocástica.

En los últimos años, el análisis de clubes de convergencia construido por [Phillips y Sul \(2007\)](#) ha sido ampliamente utilizado por distintos investigadores. Esta metodología tiene la ventaja de que utiliza una especificación general de modelos de factores no lineales con variación de tiempo, y no es necesario establecer supuestos con relación a la estacionariedad de las series ni la existencia de factores comunes. De manera particular, el enfoque de Phillips y Sul selecciona clubes de países o regiones en donde cada uno converge hacia una tendencia común. En este sentido, [Apergis y Payne \(2020\)](#) examinan la influencia del comportamiento convergente de las emisiones de dióxido de carbono CO₂ y sus determinantes como la intensidad energética y el índice de carbonización en Canadá, México y Estados Unidos. Los resultados de la investigación indican que se detecta convergencia en las tres variables mencionadas cuya condición no fue alterada por la introducción del hoy extinto Tratado de Libre Comercio para América del Norte. En consecuencia, los autores sostienen que la convergencia en América del Norte proporcionaría información útil para predecir el comportamiento de las emisiones con base en información histórica ([Apergis y Payne, 2020: 8](#)).

[Apergis y Christou \(2015\)](#) usan el algoritmo del club de convergencia para explorar la convergencia de la productividad energética en una muestra de 31 países durante el periodo 1972-2012. En este estudio, los autores solamente detectan la presencia de algunos clubes de convergencia. [Herreiras *et al.* \(2017\)](#) abordan la convergencia en el

consumo de energía residencial (carbón, electricidad y gas líquido) en China a nivel nacional y regional durante el periodo 1995-2011. De acuerdo con sus resultados, encuentran cuatro clubes para el carbón y dos para la electricidad y el gas líquido. “La existencia de clubes indica que los programas de energía común podrían tener un impacto limitado conforme las regiones converjan a diferentes estados estables” (Herrerias *et al.*, 2017: 379). Por otro lado, Ivanovski *et al.* (2018) analizan la convergencia en el consumo de energía per cápita en nueve sectores y siete estados y territorios de Australia a lo largo del periodo 1990-2016. Los autores justifican la desagregación del consumo de energía, porque la convergencia a nivel agregado podría enmascarar diferencias a nivel sectorial y estatal. En la mayoría de los sectores, alguna combinación de estados continentales del litoral suroriental y oriental forman un club del consumo de energía; la electricidad es el sector de convergencia total que sugiere que las políticas energéticas de ahorro implementadas en Australia han funcionado adecuadamente. Por último, otros autores que emplean el club de convergencia son Kim (2015), Parker y Liddle (2017a), (2017b), Yu *et al.* (2015) y Zhang y Broadstock (2016). Este conjunto de estudios se enfoca en determinar la convergencia en los patrones de productividad energética en varios países. En general, concluyen que no todos los países ni sectores convergen en el consumo de energía y, afirman, “no todos los países parecen converger hacia el mismo nivel de estado estable”.

Otros estudios emplean una gran variedad de metodologías de panel. Anoruo y DiPietro (2014) estudian la convergencia estocástica en un grupo de 22 países africanos mediante las pruebas convencionales de raíz unitaria para panel de primera y segunda generación, y el denominado Método Secuencial de Selección de Panel (SPSM, por sus siglas

en inglés). Después de reconocer que las pruebas tradicionales carecen de cualidades para identificar los grupos estacionarios y no estacionarios de un panel de datos, el procedimiento SPSM arroja que en Angola, Mozambique, Libia, Tanzania, Ghana, Zambia, Etiopía, Argelia, Senegal, República del Congo, Sudáfrica, Benín, Camerún, República Democrática del Congo y Nigeria el consumo de energía per cápita es convergente, por lo que los choques en el consumo serían temporales y con reversión a la media. De igual manera, [Le et al. \(2017\)](#) utilizan la metodología del SPSM para estudiar 19 países pertenecientes al Foro de Cooperación Económica de Asia Pacífico (APEC, por sus siglas en inglés). En especial, los autores hallan convergencia energética en 15 países, así como convergencia eléctrica en 17. Por lo anterior, vaticinan que “...los niveles de vida y bienestar en las economías de APEC han mejorado significativamente a lo largo del tiempo. La evidencia también implica que la integración económica y energética ayudan a fomentar el crecimiento económico en la región”([Le et al., 2017: 40](#)).

Por su parte, [Fallahi y Voia \(2015\)](#) y [Fallahi \(2017\)](#) se basan en la construcción de intervalos de confianza propuesto por [Romano y Wolf \(2001\)](#). En específico, las series serán estacionarias cuando el límite superior del intervalo de confianza estimado sea menor a la unidad, por lo que si el intervalo abarca al uno entonces su orden de integración será $I(1)$. El primer artículo investiga la convergencia en un grupo de 25 países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en el periodo 1960-2012, mientras que el segundo se enfoca en una muestra de 109 países y cubre el periodo 1971-2013. En ambos casos, los resultados favorecen más a la hipótesis de convergencia en los patrones de consumo energético. Por ejemplo, algunos países desarrollados estocásticamente convergentes son Australia,

Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Grecia, Italia, Japón, Luxemburgo, Holanda, Noruega, España y Suiza. En los mencionados países las políticas gubernamentales orientadas al sector energético tendrían efectos temporales sobre los patrones de consumo.

[Borozan \(2017\)](#) aplica varias pruebas de raíz unitaria de panel con y sin cortes estructurales (primera y segunda generación) al consumo de energía per cápita en regiones de Croacia, durante el periodo 2001-2013. Un resultado sobresaliente es que los mercados de electricidad en Croacia no están totalmente integrados y la convergencia energética no es plena. Esto quiere decir que las variables son sensibles a los choques estructurales, lo que implica que la introducción de reformas e innovaciones en el sector energético tendrán efectos de largo plazo. [Mishra y Smyth \(2014\)](#) proponen la prueba de estacionariedad KPSS en panel [Carrion-i-Silvestre *et al.* \(2005\)](#), y la prueba de raíz unitaria LM en panel con múltiples cortes estructurales para analizar los cinco miembros fundadores de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático. Los investigadores pudieron encontrar evidencia de convergencia con las pruebas de panel con cortes estructurales, y argumentan que una razón que pudiera explicar la convergencia es que esos países comparten estructuras económicas y sociales parecidas.

Con respecto a los estudios de series de tiempo por país, las contribuciones son más limitadas. [Meng *et al.* \(2013\)](#) utilizan las pruebas de raíces unitarias denominadas LM y RALS-LM para revisar la convergencia en el consumo de energía per cápita en 25 países de la OCDE en el periodo de 1960 a 2010. Según la metodología empleada, después de permitir un corte estructural, los autores descubrieron que la hipótesis nula de raíz unitaria era rechazada en ocho países con la prueba LM y en 12 países con la prueba RALS-LM; cuando incluyeron dos cortes estruc-

turales, en nueve países se rechazó la hipótesis nula con la prueba LM y en 17 países con la prueba RALS-LM. En este sentido, los investigadores afirman que “...permitir los cortes estructurales hace que el logaritmo del consumo de energía per cápita...sea estacionario para muchos de los países...” (Meng *et al.*, 2013: 544).

Estados Unidos es uno de los países cuyo sector energético es ampliamente estudiado. Mohammadi y Ram (2017) aplican métodos paramétricos y no paramétricos a la convergencia en el consumo de energía per cápita en Estados Unidos. En el caso de la convergencia estocástica, los investigadores usan las pruebas de raíz unitaria Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), Dickey-Fuller Aumentada (ADF), Dickey-Fuller GLS, Zivot-Andrews y Clemente-Montanes-Reyes con hasta dos cortes estructurales. Sin embargo, la conclusión generalizada es que “...existe una falta de convergencia en el consumo de energía per cápita entre los estados de Estados Unidos...” (Mohammadi and Ram 2017, 409). Payne *et al.* (2017) analizan el consumo de energía renovable desagregado por entidad federativa de Estados Unidos durante el periodo 1970-2013 con las pruebas LM y RALS-LM, y con cero, uno y dos cortes estructurales. Al igual que otros estudios que emplean la misma metodología, llegan a la conclusión de que las pruebas de raíces unitarias apoyan el argumento a favor de la convergencia estocástica en el consumo de energía renovable, con excepción de Colorado, Maine, Nuevo México y Dakota del Norte.

Lean *et al.* (2016) proponen la utilización de la recientemente desarrollada prueba de raíz unitaria GARCH que es adecuada para datos de alta frecuencia. Para ello, toman datos mensuales del consumo de petróleo de cinco sectores estadounidenses, como el residencial, comercial, industrial, transporte y eléctrico. Después de usar una mezcla de

resultados basados en las pruebas de [Narayan *et al.* \(2015\)](#) y [Narayan y Popp \(2010\)](#), “... los hallazgos pintan una imagen optimista para generar ahorros en el consumo total de petróleo a nivel sectorial” ([Lean *et al.*, 2016: 12](#)). Otros trabajos que abordan la convergencia estocástica en el sector energético de Estados Unidos incluyen [Vasseur \(2014\)](#), [Abid y Alimi \(2019\)](#), [Apergis y Tsuomas \(2011\)](#), entre otros.

Para terminar, es preciso mencionar que la evidencia empírica sobre el caso de la economía mexicana es limitada e indirecta, y solamente está relacionada con las emisiones de dióxido de carbono. Por ejemplo, [Churchill *et al.* \(2018\)](#) estudiaron la convergencia condicional de las emisiones de carbono desde 1900 para una muestra de 44 países desarrollados y subdesarrollados, con base en la metodología de raíces unitarias LM y RALS-LM. De acuerdo con los resultados de las pruebas con uno y dos cortes estructurales, las emisiones de CO₂ de la economía mexicana han convergido a los niveles internacionales en el largo plazo, tanto antes como después de la Segunda Guerra Mundial. Del mismo modo, [Churchill *et al.* \(2020\)](#) indagan sobre la convergencia estocástica en las emisiones per cápita de CO₂ de 17 economías emergentes desde 1921 hasta 2014. Tomando en cuenta las fechas de corte estructural de 1937 y 1942, en México se confirma que las emisiones de carbón son convergentes a nivel internacional.

En síntesis, no existe un consenso en la evidencia econométrica sobre la convergencia estocástica condicional. En gran medida, los resultados dependen del grupo de países o país seleccionado, el periodo de estudio y el método empírico. Para esta investigación, aplicamos las pruebas de raíces unitarias RALS-LM y RALS-LM después de validar la existencia de ninguno, uno o dos cortes estructurales. Este procedimiento metodológico lo explicamos a continuación.

La política energética en México

En este apartado, discutimos, en términos amplios, las medidas introducidas en el sector energético y los datos que usaremos para evaluar la eficiencia del consumo de energía per cápita en la economía mexicana con base en las pruebas de raíz unitaria y datos para el periodo de 1965 a 2016.

Desde los años setenta la política energética de México estuvo basada en la explotación del petróleo. Los ingresos por la venta de petróleo al exterior ayudaron a financiar el gasto de gobierno, que era el principal sustento de la amplia intervención del gobierno en las actividades productivas y del denominado Modelo de Sustitución de Importaciones. Como afirma [Hampson \(2013: 59\)](#), “para hacer frente a los problemas del aumento del gasto público y la creciente deuda pública, el gobierno deseaba impulsar el desarrollo del nuevo potencial petrolero de México junto con petroquímicos, fertilizantes y acero”. La fuerte expansión petrolera después del descubrimiento de Cantarell ([Puyana y Romero, 2009](#)) continuó más allá de la segunda parte de los años setenta y la administración de López Portillo, para poder financiar las grandes necesidades de fondos para el empuje económico.

[Sheinbaum *et al.* \(2012: 279\)](#) explican que desde los años noventa el gobierno mexicano introdujo una serie de cambios que estuvieron sustentados en cinco pilares de las sucesivas reformas energéticas. En primer lugar, hubo cambios en los esquemas administrativos en donde el comando centralizado y esquema de control fue sustituido por un único comprador para el sector eléctrico y la participación parcial del sector privado en el sector de gas natural. Segundo, aunque en el mundo se abogó por el uso del gas natural para disminuir los ni-

veles de contaminación, en el país no ayudó a diversificar la matriz energética y el sector pasó a depender más de dicho combustible fósil. Tercero, con respecto a la extracción de petróleo, la sobreexplotación hizo bajar las reservas, porque la política energética privilegió más la extracción que la exploración. En cuarto lugar, el gobierno empleó a las dos grandes empresas del Estado (Pemex y CFE) como estabilizadores macroeconómicos, debido a los grandes ingresos que le generan. Finalmente, la política energética mexicana se ha integrado más a la Alianza para la Seguridad y Prosperidad de América del Norte, con lo que se ha supeditado la seguridad energética nacional a la regional.

Hacia 2013 el gobierno mexicano impulsó una nueva reforma energética a fin de “...construir un nuevo sistema energético enfocado a reforzar la soberanía nacional, la eficiencia económica y el bienestar social” (Rodríguez-Martínez *et al.*). Se implementaron 21 leyes secundarias y dos objetivos estratégicos de crecimiento del producto interno bruto y la inclusión social. De igual manera, se adoptaron cuatro medidas de política que comprendían transporte, almacenamiento y distribución; refinamiento, procesamiento y generación; producción de petróleo; y transición energética. A pesar de las buenas intenciones, algunos analistas consideran que todavía no está claro si la estrategia implementada tendrá efectos positivos en el desempeño económico del país (Massa y Rosellón, 2020).

En este sentido, el presidente Andrés Manuel López Obrador realizó cambios a la reforma energética relacionados con la soberanía nacional, la seguridad y el desarrollo incluyente. Con respecto a los dos primeros elementos, se quiere alcanzar la autosuficiencia energética en el mediano plazo al tiempo de reducir las importaciones de combustibles, así como ofrecer combustibles y electricidad a bajo costo

([Hernández y Bonilla, 2020: 1](#)). En específico, el nuevo gobierno ha propuesto la construcción de la refinería de Dos Bocas en Tabasco, rescatar a PEMEX y combatir la extracción ilegal de hidrocarburos.

En este capítulo analizamos el consumo de energía primaria y secundaria final de 16 ramas industriales, como petroquímica de Pemex, química, siderurgia, azúcar, cemento, celulosa y papel, minería, vidrio, fertilizantes, cerveza y malta, aguas envasadas, automotriz, construcción, hule, tabaco y otras. La información tomada INEGI es de 1965 a 2016. En la figura 1 vemos la evolución de la composición porcentual del mencionado consumo. Sin duda alguna, las ramas de siderurgia, petroquímica y cemento son las principales consumidoras de energía, aunque las dos primeras bajaron fuertemente el consumo en los últimos años, en tanto que las ramas de cemento, construcción, tabaco y cerveza y malta aumentaron desde la década pasada. Lo anterior se puede complementar con la información del cuadro 1 que muestra las estadísticas descriptivas. Con un total de 52 observaciones por serie, la mayor variación se presentó en la siderurgia, petroquímica y cemento. Sobre la simetría de los datos, 11 ramas tienen una asimetría positiva, es decir, existe mayor probabilidad de grandes incrementos que caídas en el consumo de energía ([Anoruo y DiPrieto, 2014](#)).

Procedimiento econométrico

La metodología que usamos en este capítulo para probar la eficiencia del consumo de energía per cápita consiste, primero, en probar la existencia de cortes estructurales con las pruebas de [Perron y Yabu \(2009\)](#) y [Kejriwal y Perron \(2010\)](#), y segundo, aplicar las pruebas de raíces unitarias LM y RALS-LM que fueron desarrolladas recientemente.

Figura 1
Desglose porcentual del consumo de energía industrial

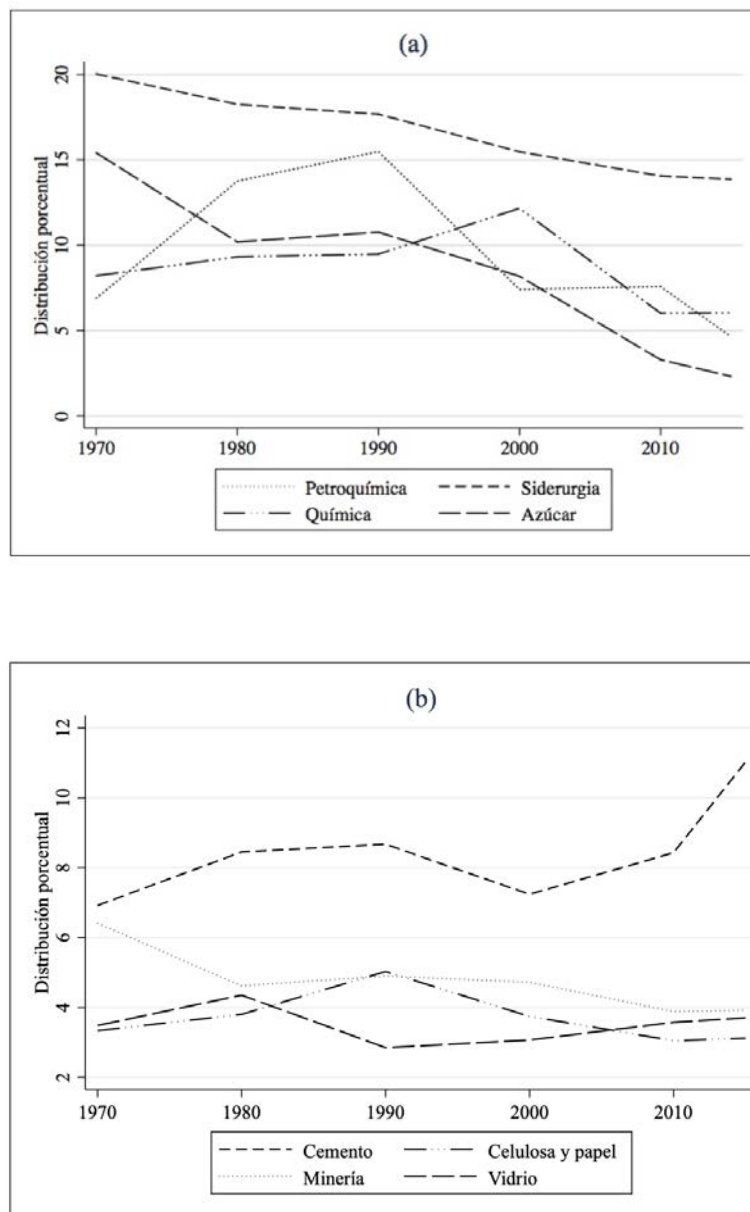
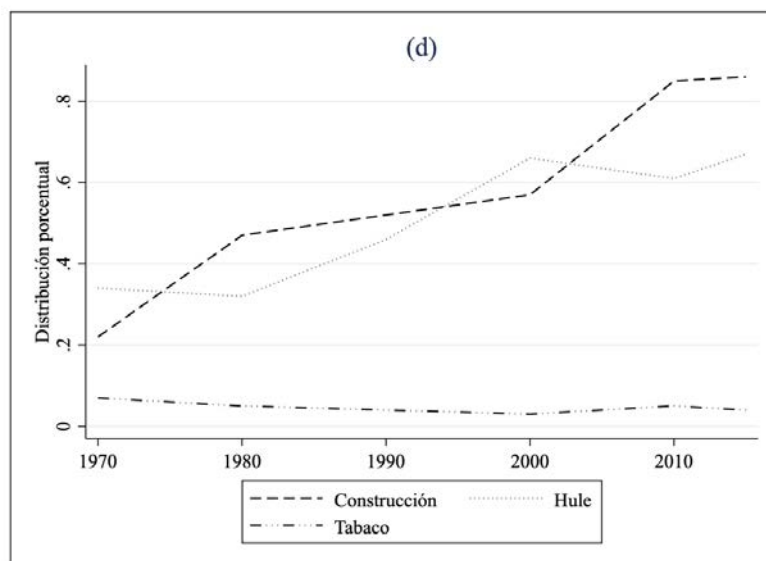
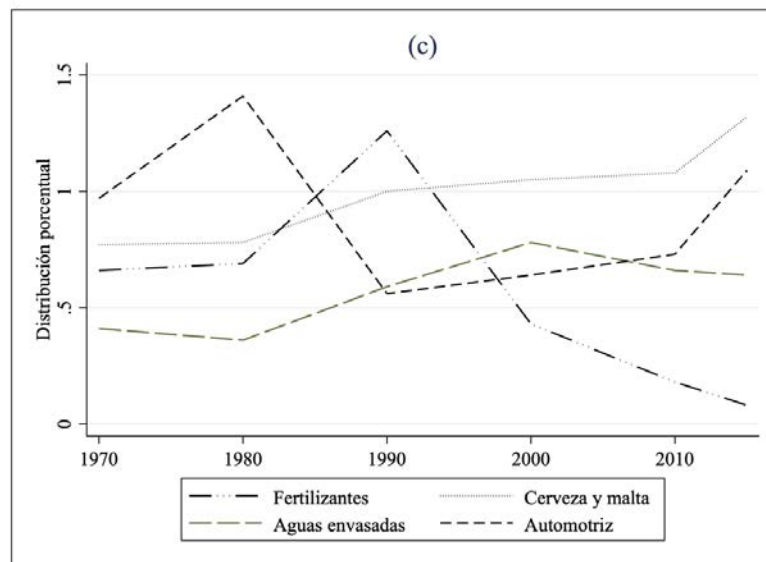


Figura 1
Continuación

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

Cuadro 1
Estadísticas descriptivas del consumo de energía

Rama industrial	Obs.	Prom.	Desv. est.	Mín.	Máx.	Asimetría
1. Petroquímica de Pemex	52	96.22	54.60	7.83	213.63	0.52
2. Siderurgia	52	170.80	49.05	56.60	268.17	-0.48
3. Química	52	88.58	32.58	19.58	164.32	-0.21
5. Azúcar	52	88.35	27.83	37.23	136.84	-0.16
5. Cemento	52	92.35	41.35	19.19	183.56	0.12
6. Celulosa y papel	52	37.88	13.60	10.39	59.41	-0.75
7. Minería	52	45.43	12.54	22.16	72.30	0.40
8. Vidrio	52	34.59	13.45	9.37	64.33	0.20
9. Fertilizantes	52	6.52	4.16	1.15	14.72	0.57
10. Cerveza y malta	52	11.18	6.18	2.75	28.11	0.48
11. Aguas envasadas	52	5.91	3.45	1.18	10.87	-0.04
12. Automotriz	52	8.72	3.46	3.09	17.39	0.73
13. Construcción	52	5.80	3.87	0.32	13.96	0.54
14. Hule	52	5.14	2.82	0.98	11.25	0.41
15. Tabaco	52	0.43	0.09	0.26	0.65	0.14
16. Otras ramas	52	344.24	218.86	106.30	776.00	0.74

Fuente: elaboración propia con información de INEGI.

Las pruebas de raíces unitarias LM y RALS-LM detectan cortes estructurales endógenos y los cambios en tendencia basándose en errores no normales para mejorar su poder (Payne *et al.*, 2017: 718). Con base en Lee *et al.* (2012), Meng *et al.* (2013), Akram *et al.* (2019) y Churchill *et al.* (2020), explicamos a continuación la construcción de las dos pruebas. El primer paso es una regresión de la primera diferencia (Δy_t) del consumo de energía per cápita sobre (ΔZ_t) de un conjunto de va-

riables que incluyen una constante, una tendencia y variables binarias que reflejan cortes estructurales con cambios en tendencia:

$$\Delta y_t = \zeta' \Delta Z_t + e_t, \quad (1)$$

con $Z_t = [1, t, D_{1t}, D_{2t}, DT_{1t}^*, DT_{2t}^*]'$, donde $D_{it}^* = 1$ for $t \geq T_{Bi} + 1, i = 2$, y cero de lo contrario. De igual modo, $DT_{it}^* = t - T_{Bi}$ para $t \geq T_{Bi} + 1, i = 1, 2$, y cero de lo contrario. [Payne et al. \(2017\)](#) argumentan que la estimación en primeras diferencias “...reduce el número de parámetros de ruido debido al nivel de las variables binarias...”. Enseguida, con el coeficiente estimado ($\tilde{\zeta}$) construimos las series sin tendencia, $\tilde{S}_t = y_t - \varphi_t - Z_t \tilde{\zeta}$, donde $\tilde{\varphi}_t = y_t - Z_t \tilde{\zeta}$. El estadístico LM, t_ϕ , el cual es el estadístico t para $\phi = 0$, se estima con la regresión

$$\Delta y_t = \zeta' \Delta Z_t + \phi \tilde{S}_{t-1} + u_t, \quad (2)$$

El parámetro t_ϕ está libre del parámetro de cambio de nivel y se asocia con el término λ_i^* que indica el lugar del cambio de tendencia. Éste especifica la fracción de las submuestras en cada régimen como $\lambda_1^* = T_{B1}/T$ y $\lambda_2^* = (T_{B2} - T_{B1})/T$. Usamos $\tilde{S}_t^* = (1/\lambda_1^*)\tilde{S}_t$ para $t \leq T_{B1}$, $\tilde{S}_t^* = (1/\lambda_2^*)\tilde{S}_t$ para $T_{B1} < t \leq T_{B2}$, o $\tilde{S}_t^* = (1/(1 - \lambda_2^*))\tilde{S}_t$ para $T_{B2} < t \leq T$. Sustituimos \tilde{S}_{t-1}^* por \tilde{S}_{t-1} y agregamos los términos aumentados y rezagados para corregir la autocorrelación en los términos de error:

$$\Delta y_t = \zeta' \Delta Z_t + \phi \tilde{S}_{t-1}^* + \sum_{j=1}^k d_j \tilde{S}_{t-j} + u_t. \quad (3)$$

El estadístico de la raíz unitaria LM se denota por τ_{LM}^* . Con respecto al estadístico RALS-LM y para capturar la información de los errores no normales, la ecuación (4) se puede modificar con:

$$\Delta y_t = \zeta' \Delta Z_t + \phi \tilde{S}_{t-1}^* + \sum_{j=1}^k d_j \tilde{S}_{t-j} + \hat{w}_t' \gamma + u_t. \quad (4)$$

En la ecuación (4), \hat{w}_t son los residuos aumentados que consideran el segundo y tercer momento de los residuos de la ecuación (4), donde $\hat{m}_j = T^{-1} \sum_{t=2}^T \hat{e}_t^j$ y $\hat{w}_t = [\hat{e}_t^2 - \hat{m}_2, \hat{e}_t^3 - \hat{m}_3 - 3\hat{m}_2\hat{e}_t]$. Cuando existen errores no normales, el término \hat{w}_t incrementa la eficiencia de los parámetros estimados y, en consecuencia, el poder de las pruebas de raíces unitarias LM. El estadístico t correspondiente se denota por $\phi = 0$ como $\tau_{RALS-LM}^*$. La distribución asintótica de la prueba de raíz unitaria RALS-LM se expresa como $\tau_{RALS-LM}^* \rightarrow \rho^2 \tau_{LM}^* + \sqrt{1 - \rho^2} Z$.

Para cerrar esta sección, es preciso aclarar que para las pruebas LM y RALS-LM las variables binarias del corte estructural y el número óptimo de rezagos se determina con la prueba *maxF*. Establecimos el área de recorte en 10% para que la cuadrícula de búsqueda estuviera entre 0.10 y 0.90 de la muestra. La longitud de rezago óptima se seleccionó con un procedimiento de general a específico y un rezago óptimo de ocho.

Discusión de resultados

En el cuadro 2 aparecen los resultados de las pruebas de [Perron y Yabu \(2009\)](#) y [Kejriwal y Perron \(2010\)](#) para las 16 ramas industriales. Según las pruebas, encontramos que 11 de las 16 ramas contienen al menos dos cortes estructurales; las ramas de celulosa y papel y otras ramas contienen un corte estructural; y las ramas de cemento aguas envasadas y hule no contienen corte alguno. Las fechas de corte identificadas

corresponden a épocas clave de la economía mexicana e internacionales, como la crisis petrolera de 1973 (1972 y 1976), la crisis de la deuda y el cambio al modelo de economía de mercado en los años 80 (1980, 1981, 1983, 1985 y 1986), la desaceleración de la economía mexicana y la crisis del tequila de los años 90 (1992 y 1997), la crisis energética internacional de 2000 y la recesión estadounidense y mexicana de 2001 (2000-2003).

Las pruebas de raíces unitarias LM y RALS-LM para el consumo de energía industrial relativo per cápita se reportan en el cuadro 3, con base en el número de cortes estructurales sugeridos por los algoritmos de Perron y Yabu (2009) y Kejriwal y Perron (2010). En el cuadro, β_1 y β_2 representan los cambios estructurales. Para ambas pruebas, los rezagos óptimos son comunes y se muestran en su columna respectiva. Y como se puede observar por la significancia de los estadísticos, únicamente hallamos convergencia estocástica en siete de las 16 ramas industriales: petroquímica de Pemex, azúcar, minería, automotriz, construcción, hule y tabaco. Por el contrario, el resto de las ramas es divergente estocásticamente hablando.

Las fechas de corte estructural no coinciden con los algoritmos iniciales, porque los procedimientos son diferentes. No obstante, de nuevo, las podemos asociar con eventos importantes: la crisis petrolera internacional de principios de los años 70 (1972), la crisis económica de principios de los años 80 (1981), la desaceleración y crisis económica de los años 90 (1991-1996), la crisis asiática de finales de los años 90 (1998), la crisis en Estados Unidos (2000-2004) y la crisis financiera global y mexicana de finales de los años 2000 (2010).

Cuadro 2
Resultados de las pruebas de corte estructural

Rama industrial	ExpW(1 0)			ExpW(2 1)		
	Estad.		Corte	Estad.		Corte
1. Petroquímica de Pemex	11.351	***	1992	4.859	***	1981
2. Siderurgia	12.360	***	1999	6.162	***	1981
3. Química	45.189	***	2002	5.056	***	1972
5. Azúcar	5.474	***	2002	38.774	***	1983
5. Cemento	2.124		—	—		—
6. Celulosa y papel	24.192	***	1985	1.228		—
7. Minería	6.8904	***	2001	2.846	*	1980
8. Vidrio	4.0207	**	1981	18.964	***	1997
9. Fertilizantes	92.5132	***	1999	3.280	**	1986
10. Cerveza y malta	5.9302	***	1985	5.630	***	2000
11. Aguas envasadas	1.8864		—	—		—
12. Automotriz	3.7048	**	1987	4.275	**	2003
13. Construcción	8.6711	***	1976	17.749	***	2012
14. Hule	2.5692		—	—		—
15. Tabaco	9.6263	***	1983	8.198	***	2000
16. Otras ramas	4.343	**	1985	—		—

Fuente: elaboración propia con el software Gauss v. 21.

Cuadro 3
Resultados de las pruebas de raíces unitarias con cortes estructurales

Rama industrial	\hat{T}_B		Rezago	LM		RALS-LM	ρ^2
	\hat{T}_{B1}	\hat{T}_{B2}		τ_{LM}^*		$\tau_{RALS-LM}^*$	
1. Petroquímica de Pemex	1991	2000	7	-4.706	**	-3.976	0.95370
2. Siderurgia	1998	2003	6	-3.585		-3.844	0.85810
3. Química	2000	2004	1	-2.441		-2.012	0.94050
4. Azúcar	2001	2004	2	-3.652	*	-4.824	*** 0.58945
5. Cemento	—	—	7	-1.258		-1.859	0.83236
6. Celulosa y papel	1993	—	7	2.064		2.003	0.98593
7. Minería	2000	2010	8	-4.669	***	-6.295	*** 0.58238
8. Vidrio	1981	1996	8	1.113		1.199	0.90125
9. Fertilizantes	1998	2001	1	-2.946		-3.245	0.62879
10. Cerveza y malta	1994	2000	2	-2.496		-2.764	0.49936
11. Aguas envasadas	—	—	8	-2.084		-2.175	0.91144
12. Automotriz	1981	1992	7	-4.100	**	-2.968	0.72868
13. Construcción	1972	2010	6	3.628	**	1.193	0.37779
14. Hule	—	—	0	-3.231	**	-2.891	* 0.84571
15. Tabaco	1998	2001	0	-4.462	**	-5.043	*** 0.75046
16. Otras ramas	1993	—	5	-0.603		-1.464	0.87222

Fuente: elaboración propia con el software Gauss v. 21.

Conclusiones

El objetivo de este capítulo es evaluar la eficiencia del consumo de energía industrial en México con base en las pruebas estructurales LM y RALS-LM, que aumentan su poder al considerar errores no normales. Hemos analizado el consumo de energía relativo per cápita de 16 ramas industriales: petroquímica de Pemex, siderurgia, química, azúcar, cemento, celulosa y papel, minería, vidrio, fertilizantes, cerveza y malta, aguas envasadas, automotriz, construcción, hule, tabaco y otras ramas. Con la metodología empleada, pudimos hallar que solamente en siete ramas el consumo de energía es convergente en términos estocásticos.

El análisis desarrollado tiene fuertes implicaciones para la política energética de México, en particular el sector industrial. Si uno de los objetivos de la política es mejorar la eficiencia energética y, al mismo tiempo, participar en la reducción de emisiones (por ejemplo, como parte del Acuerdo de París), las autoridades deberán emprender políticas alternativas que sean efectivas. Con excepción de petroquímica y azúcar, el resto de las ramas altamente consumidoras de energía (siderurgia, química y otras ramas) son ineficientes, y por lo tanto se esperaría que contribuyeran fuertemente a las emisiones con efecto invernadero.

Derivado de lo anterior, las investigaciones futuras deberían examinar el consumo energético de otras áreas y regiones del país, como la convergencia estocástica entre entidades federativas, otros sectores (residencial, público, transporte, etcétera), o incluso entre sectores industriales de la región de América del Norte (México, Estados Unidos y Canadá).

Referencias

- Abid, M. y Mohsen, A. (2019), Stochastic convergence in US disaggregated gas consumption at the sector level, *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 61: 357-68.
- Akram, V.; Badri, N. R. y Pradipta, K. S. (2020), Stochastic conditional convergence in per capita energy consumption in India, *Economic Analysis and Policy* 65: 224-40.
- Akram, V.; Pradipta, K. S. y Bhushan, P. J. (2019), Do shocks to electricity consumption revert to its equilibrium? Evidence from Indian states, *Utilities Policy* 61.
- Anoruo, E. y William, R. D. (2014), Convergence in per capita energy consumption among African countries: Evidence from sequential panel selection method, *International Journal of Energy Economics and Policy* 4: 568-577.
- Apergis, N. y Christou, C. (2015), Energy productivity convergence: New evidence from club converging, *Applied Economics Letters* 23 (2): 142-45.
- Apergis, N. y James E. P. (2020), NAFTA and the convergence of CO₂ emissions intensity and its determinants, *International Economics* 161: 1-9.
- Apergis, N. y Tsoumas, C. (2011), Integration properties of disaggregated solar, geothermal and biomass energy consumption in the U.S., *Energy Policy* 39 (9): 5474-5479.
- Bernard, A. B. y Durlauf, S. (1995), Convergence in international output, *Journal of Applied Econometrics* 10 (2): 97-108.
- Borožan, D. (2017), Testing for convergence in electricity consumption across Croatian regions at the consumer's sectoral level, *Energy Policy* 102: 145-53.
- Carrion-i-Silvestre, J.; Del Barrio-Castro, T. y López-Bazo, E. (2005), Breaking the panels: An application to the GDP per capita, *The Econometrics Journal* 8 (2): 159-175.
- Churchill, S. A.; Inekwe, J. y Ivanovski, K. (2018), Conditional convergence in per capita carbon emissions since 1900, *Applied Energy* 228: 916-927.
- Churchill, S. A.; Inekwe, J. y Ivanovski, K. (2020), Stochastic convergence in per capita CO₂ emissions: Evidence from emerging economies, *Energy Economics* 86.

- Fallahi, F. (2017), Stochastic convergence in per capita energy use in world, *Energy Economics* 65: 228-39.
- Fallahi, F. y Voia, M. (2015), Convergence and persistence in per capita energy use among OECD countries: Revisited using confidence intervals, *Energy Economics* 52: 246-253.
- Hampson, F. (2013), *Forming economic policy: The case of energy in Canada and Mexico*, Bloomsbury, Londres.
- Hendry, D. F. y Juselius, K. (2000), Explaining cointegration analysis: Part 1, *The Energy Journal* 21 (1): 97-108.
- Hernández, J. A. y Bonilla, D. (2020), Examining Mexico's energy policy under the 4T, *The Extractive Industries and Society*, 7 (2): 669-675.
- Herrerias, M. J.; Aller, C. y Ordóñez, J. (2017), Residential energy consumption: A convergence analysis across Chinese regions, *Energy Economics* 62: 371-381.
- Hooi H.; Mishra, V. y Smyth, R. (2016), Conditional convergence in US disaggregated petroleum consumption at the sector level, *Applied Economics* 48 (32): 3049-3061.
- Ivanovski, K., Awaworyi, S. C. y Smyth, R. (2018), A club convergence analysis of per capita energy consumption across Australian regions and sectors, *Energy Economics* 76: 519-531.
- Junsoo, L.; Strazicich, M. C. y Meng, M. (2012), Two-step lm unit root tests with trend-breaks, *Journal of Statistical and Econometric Methods* 1 (2): 81-107.
- Kejriwal, M. y Perron, P. (2010), A sequential procedure to determine the number of breaks in trend with an integrated or stationary noise component, *Journal of Time Series Analysis* 31 (5): 305-328.
- Kim, Y. S. (2015), Electricity consumption and economic development: Are countries converging to a common trend? *Energy Economics* 49: 192-202.
- Kraft, J. y Kraft, A. (1978), On the relationship between energy and GNP, *The Journal of Energy and Development* 3(2): 401-403.
- Le, T.; Chang, Y. y Park, D. (2017), Energy demand convergence in APEC: An empirical analysis, *Energy Economics* 65: 32-41.
- Massa, R. y Rosellón, J. (2020), Linear and nonlinear granger causality between electricity production and economic performance in Mexico, *Energy Policy* 142: 1-8.

- Meng, M.; Payne, J. E. y Lee, J. (2013), Convergence in per capita energy use among OECD countries, *Energy Economics* 36: 536-545.
- Mishra, V. y Smyth, R. (2014), Convergence in energy consumption per capita among ASEAN countries, *Energy Policy* 73: 180-185.
- Mohammadi, H. y Ram, R. (2017), Convergence in energy consumption per capita across the US states: An exploration through selected parametric and non-parametric methods, *Energy Economics* 62: 404-410.
- Narayan, P. K. y Popp, S. (2010), A new unit root test with two structural breaks in level and slope at unknown time, *Journal of Applied Statistics* 37 (9): 1425-1438.
- Narayan, P. K. y Smyth, R. (2007), Are shocks to energy consumption permanent or temporary? Evidence from 182 countries, *Energy Policy* 35 (1): 333-341.
- Narayan, P. K.; Liu, R. y Westerlund, J. (2015), New evidence on the weak-form efficient market hypothesis, Working Paper, Deakin University, Victoria, Australia.
- Parker, S. y Liddle, B. (2017a), Analysing energy productivity dynamics in the OECD manufacturing sector, *Energy Economics* 67: 91-97.
- Parker, S., y Liddle, B. (2017b), Economy-wide and manufacturing energy productivity transition paths and club convergence for OECD and non-OECD countries, *Energy Economics* 62: 338-346.
- Payne, J. E.; Vizek, M. y Lee, J. (2017), Is there convergence in per capita renewable energy consumption across U.S. states? Evidence from LM and RALS-LM unit root tests with breaks, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70: 715-28.
- Perron, P. and Yabu, T. (2009), Testing for shifts in trend with an integrated or stationary noise component, *Journal of Business & Economic Statistics* 27 (3): 369-396.
- Phillips, P. C. B. y Sul, D. (2007), Transition modeling and econometric convergence tests, *Econometrica* 75 (6): 1771-1855.
- Puyana, A. y Romero, J. (2009), México: de la crisis de la deuda al estancamiento económico, Colegio de México, Ciudad de México.
- Rodríguez-Martínez, A.; Lechón, Y.; Cabal, H.; Castrejón, D.; Flores, M. y Romero, R. J. (2018), Consequences of the national energy strategy in the Mexican energy system: Analyzing strategic indicators with an optimization energy model, *Energies* 11 (10): 1-19.

- Romano, J. P. y Wolf, M. (2001), Subsampling intervals in autoregressive models with linear time trend, *Econometrica* 69 (5): 1283-1314.
- Sims, C. A. (1972), The role of approximate prior restrictions in distributed lag estimation, *Journal of the American Statistical Association* 67 (337): 169-175.
- Vasseur, M. (2014), Convergence and divergence in renewable energy policy among US states from 1998 to 2011, *Social Forces* 92 (4): 1637-1657.
- Yu, Y.; Zhang, Y. y Song, F. (2015), World energy intensity revisited: A cluster analysis, *Applied Economics Letters* 22 (14): 1158-1169.
- Zhang, D. y Broadstock, D. (2016), Club convergence in the energy intensity of China, *The Energy Journal* 37 (3): 137-158.

CAPÍTULO 11

La transición energética en México

Gabriela Muñoz Meléndez

La transición energética representa la encrucijada de dos problemas mundiales urgentes de atender que guardan una estrecha relación entre sí: el desarrollo económico y el cambio climático. Encrucijada toda vez que el modelo actual de desarrollo demanda energéticos —en la forma de combustibles fósiles— masivos para mover sus sectores y se convierte en amenaza al medio ambiente en la forma de contaminación, degradación de suelo y escasez hídrica a nivel local y cambio climático a nivel global (*Energy Transition Commission* [ETC], 2016).

Empero ¿a qué se le denomina grandes cantidades de energía? Si se busca una cifra se puede citar 14,035 millones de toneladas equi-

valentes de petróleo (MMtep) que representa la producción mundial de energía primaria al 2017, ese número tuvo un incremento del 2.2% con relación al año anterior. Pero lo más relevante es que el 81.4% de la producción de energía primaria para 2017 —pero también para 2016— provino de combustibles fósiles con participaciones de 32% de crudo, 26.9% de carbón y sus derivados, y 22.5% de gas natural. Entre las contribuciones no fósiles, la energía nuclear proveyó 4.9% y los renovables 13.8% (*International Energy Agency [IEA], 2019*).

La dominación de los combustibles fósiles en los procesos socio-económicos actuales se debe a las ventajas que ofrecen, entre éstas se pueden listar abundancia, bajo precio, alta densidad energética, diversidad de conversión, eficiencia elevada y fácil transporte (*Simil, 2017*). Dichas ventajas aunadas a la innovación tecnológica y el crecimiento económico han caracterizado en gran parte la ideología política del último siglo, a tal punto que ha cegado a la sociedad moderna a las desventajas y limitaciones ligadas al uso de combustibles fósiles.

Y tal vez la mayor limitación de los combustibles fósiles es que son finitos y este reconocimiento conduce a la teoría desarrollada en torno al petróleo por M. King Hubbert en 1956, cuando mediante una representación tipo campana invertida estimó alza, cenit y caída de la producción de combustible; en Estados Unidos este modelo predijo correctamente la producción de crudo americano (excluyendo Alaska y Hawái) hasta 1970. Para las reservas mundiales de crudo, el cenit de producción según Hubbert se alcanzaría hacia las últimas décadas del siglo XX; ante predicciones no concretadas surgieron voces críticas indicando que el cenit no se alcanzaría.

Sin embargo, dado que las reservas de petróleo son finitas y que la demanda del combustible aumenta, tarde o temprano se presentará

un cenit y esta situación no podrá ser evitada ni mediante un manejo financiero ni por la intervención tecnológica (Hirsch *et al.*, 2005). No obstante, estimar una fecha exacta se ha dificultado debido a datos de baja calidad, intereses político-institucionales y otros factores complejos; empero entre las fechas posibles del cenit se mencionan después de 2007 (Skrebowski, 2004), alrededor de 2010 (Campbell, 2003), 2025 o después (Davis, 2003).

Debe agregarse que al cenit de producción de crudo un escenario sobradamente probable es que existirán reservas remanentes, incluso vastas, y la producción continuará e irá decreciendo de manera paulatina. Pero experiencias previas de la interrupción del suministro de petróleo tales como el embargo petrolero de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC) en 1973, la crisis de petróleo iraní en 1979, el colapso del precio en 1986, la guerra iraquí en 1991, y más recientemente el desplome en 2020 por la pandemia del COVID-19, muestran que los precios de petróleo son un determinante del desempeño económico mundial, la volatilidad de los precios y el tiempo por el que permanezcan, aunque las afectaciones económicas se diferenciarán y serán asimétricas entre las naciones.

Si bien el riesgo de un cenit de la producción de crudo ha acaparado la atención en las discusiones respecto a la teoría del agotamiento de recursos, debe agregarse que hay símiles para el gas natural (expuesto por Hubbert en 1962 y refinado por Reynolds en 2005) y el carbón. Y reparar de una potencial disrupción de los energéticos de los que depende la modernidad, lleva a reconocer que ésta vendrá acompañada por impactos sociales, económicos, políticos y ambientales; el eventual agotamiento de combustibles fósiles provoca la búsqueda de alternativas energéticas, sin embargo, la transición es un reto mayúsculo dado

que la misma debe darse como soporte al desarrollo de una manera irreversible, sólida, segura, asequible, sustentable e inclusiva.

Cabe aclarar que el término “transición energética” no posee una acepción única, pero aquí se aceptará que es “un cambio estructural a largo plazo de los sistemas energéticos (primarios)”. A su vez, no existen patrones definidos ni específicos de la manera en que se lleva a cabo una transición, y se nota una clara diferencia por país; con todo se identifican factores comunes tales como: contexto histórico, tamaño de país, estado de la economía, desarrollo tecnológico, dependencia en importaciones. Históricamente, las transiciones energéticas han resultado en una gradual descarbonización (no intencionada) de la matriz energética primaria que en promedio ha tomado alrededor de 100 años ([Simil, 2017](#)).

El Foro Económico Mundial creó el Índice de Transición Energética (ITE) como parte de la iniciativa de fomento a la transición energética, un reporte que actualmente se publica cada año sobre los avances en la materia de 115 economías. El ITE se compone de tres fundamentos de los sistemas energéticos: 1) seguridad y acceso, 2) sustentabilidad ambiental, y 3) desarrollo económico y crecimiento, los cuales se estiman mediante 17 indicadores. Asociados a los fundamentos se encuentran seis dimensiones habilitadoras para la transición: estructura del sistema energético, capital e inversión, regulación y compromiso político, capital humano y participación del consumidor, infraestructura y ambiente de innovación de negocio, instituciones y gobernanza; las dimensiones se calculan usando 23 indicadores (*World Energy Forum [WEF], 2018*).

En 2020, el promedio global de la puntuación ITE fue de 55.1 (de una escala de 100). 53% de los países registraron algún grado de retroceso, si bien durante el periodo 2015 a 2020 la transición tuvo un

incremento moderado. Los diez países con mejores ITE son economías avanzadas, lideradas por Suecia, Suiza y Finlandia con puntajes de 74.2%, 73.4% y 72.4% respectivamente. Entre los diez punteros sólo dos de las grandes economías están incluidas: el Reino Unido (ITE de 69.9%) y Francia (ITE de 68.7%). Economías emergentes como India y China habían mejorado respecto al año anterior posicionándose en los lugares 74 (51.5%) y 78 (50.9%) respectivamente. Estados Unidos, Canadá, Brasil e Irán mostraban estancamiento o retroceso. Alemania y Japón desplegaron avances moderados. México ocupaba la posición número 50 con un ITE de 56.4%. Otro resultado revelador es que países importadores de energía tenían un mejor desempeño que países exportadores de combustibles. Sin embargo, de manera general se identificó la necesidad de acelerar el proceso de transición energética global ([WEF, 2020](#)).

Marco teórico-conceptual

La energía se define como “la capacidad para realizar trabajo” ([Porteous, 2008: 234](#)), en este sentido la energía sólo puede percibirse de manera fenomenológica, dado que únicamente es evidente a través de sus efectos, es posible sólo a través de la materia ([Beardsworth, 1999](#)). Así, conceptualizar a la materia como fuente de energía está a sólo un paso, y de ahí a considerar a los combustibles fósiles y otras entidades en la naturaleza como recursos es casi una obviedad. Y la concepción, el descubrimiento y aprovechamiento está profundamente asociada a la evolución de la Sociedad. Es más, órdenes mundiales han florecido a través de la explotación de algún tipo específico de recurso energético: así, se asocia la era de vapor y carbón al imperio británico y la era

del petróleo, gas y energía nuclear a la dominación estadounidense. Actualmente la transición energética a energías alternativas liderada particularmente por China parecería retrasarse por la reciente explotación de arenas bituminosas en Canadá y el gas de lutitas en Estados Unidos ([Rapkin y Thompson, 2013](#)).

Empero, la riqueza en recursos no necesariamente se traduce en ventajas y predominio; en países de ingresos bajos y medios con riqueza en recursos minerales, de gas natural y de petróleo; no hay mejoras socio-económicas, estabilización y a veces ni democracia producto de ingresos asociados a la riqueza de recursos, esto es la llamada maldición del petróleo o la paradoja de la abundancia. El origen de esta maldición se ha asociado a cuatro características de las ganancias petroleras: escala, fuente, estabilidad y secretismo. La escala de recursos financieros —generalmente cantidades masivas— traídos por los ingresos petroleros, usualmente han sido usados por el gobierno para acallar el disenso; la fuente distinta a impuestos no ha permitido la rendición de cuentas a la ciudadanía; la inestabilidad del mercado internacional (cambio de precios, de tasas de producción y de contratos); y el secretismo con el que se manejan las arcas gubernamentales ([Ross, 2012](#)) originan esa maldición.

Una consecuencia de la maldición del petróleo es que, si bien sucede e impacta a nivel local, la utilidad y prosperidad se experimentan en otro sitio; es entonces razonable concluir que la maldición une a países y personas al mantenerlos separados. Si bien no es inevitable ni irreparable, la situación conduce a una disociación que impide que se comprenda la dimensión real de la experiencia de la energía generada por los combustibles fósiles. El antídoto parcial para tal dependencia y enajenación es el pensamiento local y atención a lo terrestre ([Vaden,](#)

2005), complementado con la multiplicidad de uso de formas de energía que no concentren poderío ni control y que necesariamente está descentralizada (Salimen y Vaden, 2015). Pero de una manera radical y profunda la solución ante el dilema recae en la forma en que se conceptualiza a la energía en actualidad, en abstraer la acepción fuera de la “energolatría”, entendida como una especie de culto a la energía que ha dominado la concepción occidental de producir, competir, desarrollar y dominar (Bernardi, 2011).

Así, replantear de manera autosuficiente e independiente una nueva concepción energética mediante una economía de trabajo, con experiencia acumulada que permita la convivencia con el ambiente sin el uso de combustibles fósiles (Nordlund, 2008), demanda un replanteamiento profundo de detalles en lo más intrincado de los sectores que conforman la economía actual. Eso significa ir más allá de considerar que la transición energética se alcanza al aumentar la penetración de fuentes renovables en el sector eléctrico, en tanto que los campos solares y eólicos descansan en infraestructura de concreto y metal, cuyos procesos dependen de combustibles fósiles. Sin olvidar que la producción de alimentos desde la revolución verde, es posible gracias a la alta inversión en energía fósil (hasta 50 veces más en promedio, comparada a la demanda energética previa) en la producción de fertilizantes, pesticidas y herbicidas, siembra y cosecha, procesamiento, empaque, distribución, preparación y almacenamiento (Pfeiffer, 2006).

Los procesos de transición energética se han estudiado en la mayoría de los países industrializados (Jianchao *et al.*, 2021) a través de datos históricos (Simil, 2017), mediante el análisis de implementación de políticas energéticas regionales (Tagliapietra *et al.*, 2019) y nacionales (Álvarez Pelegry y Ortiz Martínez, 2016; Hong *et al.*, 2020) y

su efectividad ([Horschig y Thrän, 2017](#); [Elshurafa *et al.*, 2019](#)). Los estudios se han centrado en la substitución de combustibles fósiles por fuentes renovables en la matriz energética de generación de electricidad ([Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos \[OCDE\], IEA y Agencia Internacional de las Energías Renovables \[IRENA\], 2017](#); [Alkin y Uperlainen, 2018](#)) y el desempeño de las tecnologías para implementarlas ([Arvesen y Hertwich, 2012](#)) incluido el almacenamiento ([Kittner *et al.*, 2017](#)).

La evolución del proceso de transición energética global ha permitido ver que a la par de medidas implementadas de arriba hacia abajo por los gobiernos y el sector privado mediante instrumentos regulatorios y financieros, las acciones de abajo hacia arriba han demostrado que la transición energética va más allá de la substitución por renovables e invitan a considerar el papel de la energía ciudadana, ciudades en transición, cooperativas de consumo y producción o de la generación distribuida; elementos que podrían alentar otro modelo energético, uno renovable, participativo e inclusivo ([Akizu *et al.*, 2018](#); [Bertinat, 2016](#)).

En el caso de los países latinoamericanos y caribeños, el estudio de la transición energética se ha visto limitado por la ausencia de información pertinente, se reporta que existen sólo cuatro trabajos que aportan datos históricos de consumo energético en América Latina en el periodo 1900 a 1930 ([Folchi y Rubio, 2006](#)); estudios más recientes señalan que la región va tarde en el proceso de transición energética y no se esperan una descarbonización rápida ([Villegas, 2019](#)); aunque se reconoce que el modelo de transición energética de los países industrializados no es el paradigma de la transición energética, sino una versión que no necesariamente es replicable en la región donde es más apropiado, debido a sus características, perseguir una transición “inte-

gral” que contemple sus aristas ambientales, económicas, culturales y políticas (Fornillo, 2017).

En México, la transición energética ha sido investigada desde la posibilidad, retos y oportunidad de su implementación (Vázquez, 2015; Villareal y Tornel, 2017; Vita *et al.*, 2019), los marcos regulatorios apropiados (Merchand, 2015), en particular la Ley de Transición Energética, sus implicaciones en la seguridad energética nacional (Dorantes *et al.*, 2015; Oswald, 2017) y el seguimiento a las obligaciones adquiridas en materia climática en el ámbito internacional (Ibarra, 2015), también se ha analizado el uso de instrumentos económicos para apoyar la transición energética (León, 2016); considerando que la misma descansaría en fuentes renovables (Larios, 2015; Estrada, 2013; Morales *et al.*, 2017) y que su uso tendría impactos (Martínez y Gómez, 2017). De manera más reciente se ha estudiado la transición energética bajo las acciones del actual gobierno federal (Torres, 2020; Villavicencio y Millán, 2020).

Metodología

Los procesos de transición energética han sido matemáticamente descritos como avances tecnológicos penetrando un mercado y substituyendo a tecnologías establecidas hasta ese momento (Kucharavy y DeGuio, 2011). Si bien el modelo, primero binario después múltiple, consideró que el modelo logístico simple podía describir satisfactoriamente el comportamiento de substitución entre fuentes primarias de energía; dada la complejidad generada por fenómenos económicos, políticos y sociales asociados, el análisis logístico podría no ser apropiado para es-

timar comportamiento a largo plazo en el futuro (Devezas *et al.*, 2007). Con todo, el modelo logístico continúa siendo extensamente usado y complementado por análisis estadísticos y gráficos. A continuación, se presenta una breve explicación de los métodos usualmente utilizados para estimar, representar y proyectar el comportamiento de la transición energética.

Hacia 1970, Fisher y Pry publicaron un estudio para proyectar la substitución de tecnologías establecidas por avances noveles en tres etapas, penetración, crecimiento y declive; este modelo se basa en tres suposiciones: 1) diversas tecnologías en diferentes grados de avance compiten por cubrir una necesidad, 2) Si una tecnología penetra el mercado en un dado porcentaje, aunque bajo al inicio procederá hasta su culminación y 3) la tasa porcentual de substitución de una nueva por una tecnología anterior es proporcional a la cantidad remanente de ésta. En general se asume que la nueva tecnología se encuentra en un menor grado de avance que la tecnología asentada con la cual compite; pero tiene un alto potencial de mejora en eficiencia y de reducción de costo; asimismo, su modesta penetración al mercado irá acompañada de viabilidad económica y continuará creciendo hasta que substituya totalmente a la tecnología anterior.

La substitución sigue un comportamiento exponencial en forma de “S”, que puede ser descrita por la ecuación 1:

$$\frac{f}{1-f} = e^{\alpha t \beta}, \quad (1)$$

donde t representa una unidad de tiempo, α y β son constantes que describen el proceso de substitución, f es la fracción de participación

en el mercado de la tecnología “nueva” y $1 - f$ es la fracción de participación en el mercado de tecnología asentada.

Las constantes α y β se estiman, por ejemplo, mediante una regresión lineal por mínimos cuadrados ordinarios. Por otro lado, la fracción de substitución en balance entre tecnologías se da mediante la ecuación (2), que esquemáticamente podría ser representada por la figura 1.

$$f = \frac{1}{2}[1 + \tan h\alpha(t - t_o)], \quad (2)$$

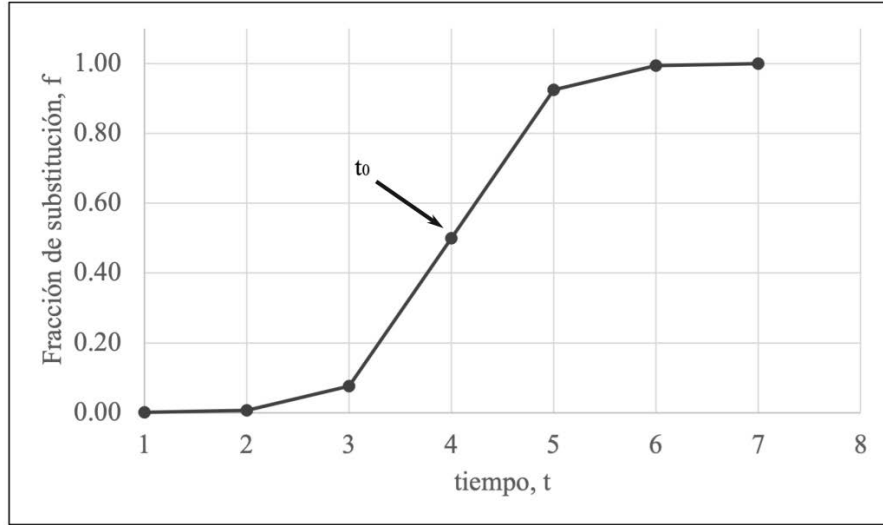
donde t_0 representa el tiempo donde la substitución está a la mitad y α es la mitad del crecimiento fraccional anual.

En 1977 Marchetti usó el modelo de substitución bi-tecnológica de Fisher y Pry para describir y proyectar exitosamente la transición energética entre las fuentes de energía primaria: madera, carbón, petróleo y nuclear. Hacia 1979, Marchetti y Nakicenovic mostraron la aplicación del modelo usando series de datos históricos, que se extendían hasta por 130 años, del uso de fuentes energéticas en más de 300 casos cubriendo el mundo, naciones y regiones; aseverando que el modelo logístico describía y proyectaba de manera exacta transiciones energéticas y que las perturbaciones eran reabsorbidas sin impactar la tendencia. El análisis propuso el desarrollo de n ecuaciones, una por fuente de energía primaria, tal como muestra la ecuación (3):

$$f_{i(t)} = \frac{1}{[1 + \exp^{-\alpha_{it} - \beta_i}]}, \quad (3)$$

donde i puede tomar valores de 1 a n y α_i y β_i son constantes que describen el proceso de substitución de la tecnología i .

Figura 1
Forma general de la función del modelo de sustitución



Fuente: elaboración propia.

Una tecnología específica que penetra al mercado compite con otras nuevas y otras ya asentadas ahí, todas ellas pueden crecer y declinar en el proceso de sustitución en el mercado, la fracción de participación de la tecnología específica alcanza una saturación j , donde $i \neq j$ que se describe mediante la ecuación (4):

$$f_j(t) = 1 - \sum_{i \neq j} f_i(t), \quad (4)$$

donde $i \neq j$.

El final de esta fase de saturación marca el inicio del declive de la tecnología particular, mismo que seguirá un comportamiento logístico en su caída, con cargas de saturación ubicadas en $j + 1$.

Para 2017 Simil revisita la publicación original de Marchetti, señalando que el comportamiento histórico fue correctamente ajustado para carbón en su proceso de substitución de biomasa, pero agregó que las otras proyecciones de substitución no se cumplieron y que el análisis tenía debilidades, por lo que sería incapaz de describir la dinámica del sistema energético. Así, a fin de tener una idea plausible del comportamiento futuro de un sistema es posible a través de la preparación de escenarios y usando métodos gráficos como lo sugerido por [Grüber \(1999\)](#) y [Nakicenovic *et al.* \(2000\)](#).

Teniendo esto en consideración, se usará un modelo Fisher y Pry para describir el comportamiento histórico de la transición energética en México para posteriormente aplicar un sistema ternario para proyectar su potencial comportamiento futuro.

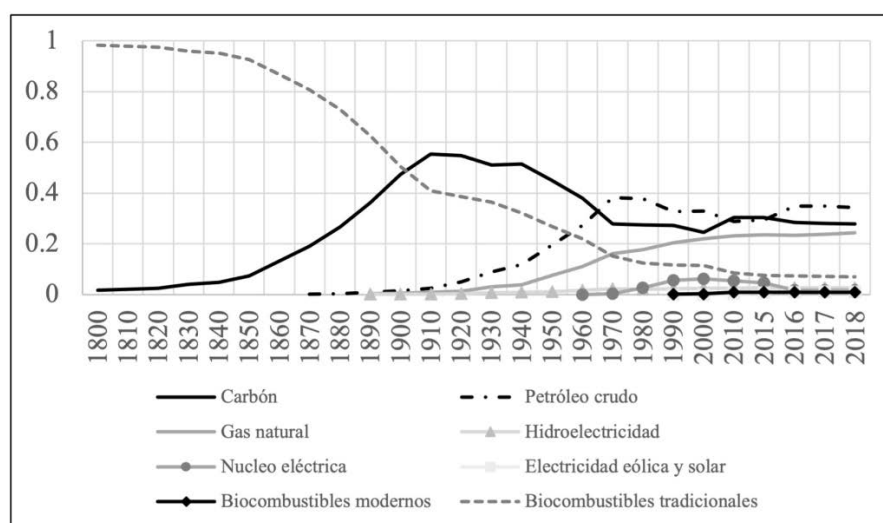
Resultados y discusión

La transición energética en México a través de la historia

A fin de tener un punto de comparación con la transición energética nacional, la figura 2 despliega la tendencia de transición energética mundial para el periodo 1800 a 2018. Bajo el término “biocombustibles tradicionales” se catalogan a la biomasa, la leña, el bagazo, el excremento animal, etcétera. Como se nota, estos biocombustibles tradicionales fueron substituidos por carbón alrededor de 1900, que siguiendo lo proyectado por el modelo Fisher y Pry, cerca de 50 años después fue substituido por el petróleo crudo. Después de ese periodo las tendencias no siguen comportamientos proyectados. Así, el gas natural

no llega al 50% sino a menos del 30% de predominancia en el mercado para substituir, aunque sea momentáneamente, al petróleo crudo. Otro resultado interesante es que la fracción de penetración identificado por Fisher y Pry como alrededor de 3%, es mayor —quizás cerca del 10%— para nuevas fuentes energéticas instalándose en una carrera de substitución.

Figura 2
Diagrama de la transición energética global de biomasa al carbón, hidrocarburos y electricidad primaria, 1800-2018



Fuente: elaboración propia usando datos de Simil (2017) de 1880 a 2015; de 2016 en adelante se usaron los datos de Ritchie y Roser (2018).

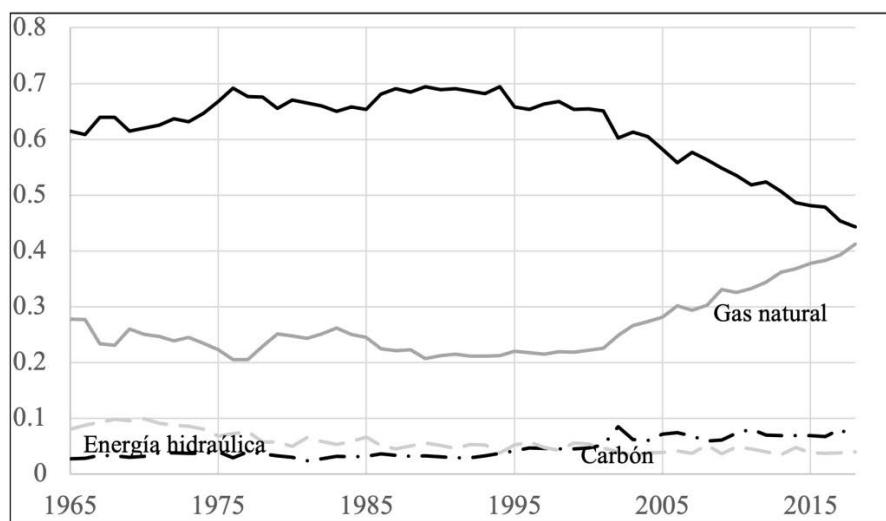
Para México, las estadísticas sobre el consumo de fuentes primarias energéticas se registran de manera frecuente a partir de 1965, estas incluyen los siguientes combustibles: carbón, petróleo crudo, gas

natural, energía hidráulica, nuclear, solar, eólica y otras renovables, en particular energía geotérmica. La tendencia histórica que han seguido se muestra en la figura 3, para mejor visualización se incluyen las transiciones para las primeras cuatro fuentes energéticas, dado que la participación de nucleoelectricidad, electricidad eólica y solar, eólica y geotérmica es alrededor del 1%. Como se ve, México ha sido históricamente un país petrolero, sin embargo, el gas natural ha estado ganando impulso en el mercado desde 2001. La electricidad hídrica inició con una penetración de hasta 10% antes de 1965, pero no procedió a sustitución alguna y por el momento sólo participa un 4% en el mercado energético mexicano. Por su parte, la nucleoelectricidad no ha rebasado la participación porcentual del 2% en todo el periodo analizado.

Aparte del petróleo crudo y gas natural, el carbón muestra una participación baja de alrededor del 5% hasta 2001, pero a partir de entonces la participación del carbón ha incrementado cerca del 10% hasta la actualidad. Sin embargo, existen registros que datan del siglo XIX y ubican la explotación de carbón mineral en La Rosita, Coahuila cuando se dieron las primeras concesiones en 1828. Hacia 1865, el carbón mineral ya se consideraba como económicamente viable; para 1884 se reportó la primera producción comercial. El carbón se destinó para la fundición de cobre, posteriormente para movilizar ferrocarriles, y al final de ese siglo se usaba en las industrias metalúrgica y acerera ([Minería en Línea, 2019](#)). De 1902 a 1910 se produjeron 10.08 millones de toneladas de carbón “todo uno” (salido de la mina y antes de cualquier procesamiento). De 1911 a 1921 la producción bajó a 3.97 millones de toneladas debido a los disturbios durante la Revolución mexicana; a partir de este periodo el carbón empieza a ser substituido por el petróleo crudo. De 1921 a 1940, la producción acumulada

fue de 31.99 millones de toneladas de carbón “todo uno”, proveniente primordialmente de Coahuila (Salas y Benavides, 1976).

Figura 3
Transiciones energéticas de México, 1965-2018



Fuente: elaboración propia usando datos de Ritchie y Roser (2018).

Por otro lado, y refiriéndose a la biomasa, si bien no se cuentan con series de datos históricos, en los balances nacionales energéticos (Secretaría de Energía [SENER], 2012; 2016; 2017; 2019) se reportan que de 2012 a 2018, el promedio de biomasa usado como fuente primaria de energía fue de 5.9% de participación del consumo de energía final. La biomasa en México se reporta como una mezcla de leña y gabazo de caña; mayoritariamente el primero, mismo que incluye ramas de árboles y arbustos, residuos sólidos de la destilación y pirolisis de la madera u otra materia vegetal; la leña se usa directamente en el sector residencial

para cocción de alimentos y calefacción. Por su parte, el bagazo de caña se destina como combustible para generar energía eléctrica en los propios ingenios azucareros, aunque en menor proporción se dedica como materia prima para la fabricación de papel, tableros aglomerados y alimento para ganado (SENER, 2012).

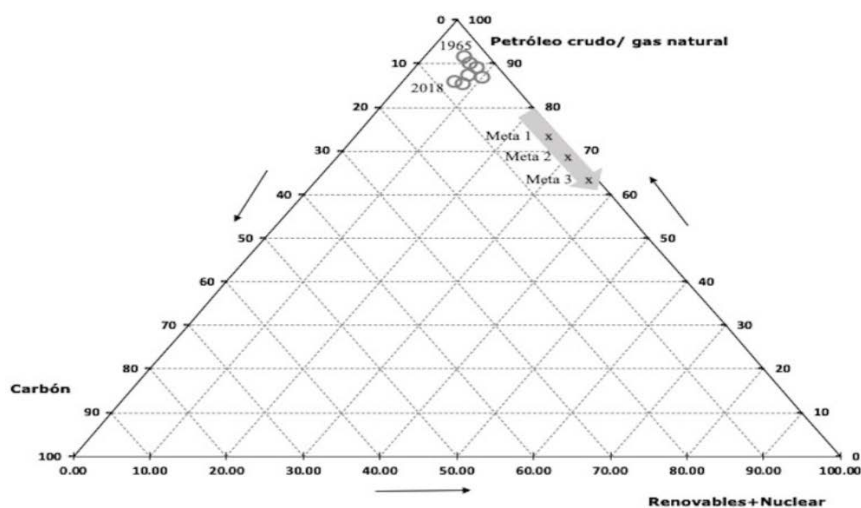
Recapitulando, si se supone que el comportamiento en México es similar al mundial, se podría considerar que la biomasa fue la fuente dominante hasta la llegada del carbón mineral y fue substituida por este hacia 1890; desde entonces el carbón mineral se convirtió en la fuente primaria energética predominante por cerca de 50 años para ser substituido por el petróleo crudo aproximadamente en 1940 —sin duda influido por la nacionalización de la industria petrolera—, fuente energética aún dominante pero que podría ser substituido por el gas natural en la próxima década. Ni la electricidad hídrica ni la nuclear ha remontado su penetración al mercado, aunque la primera tiene una mayor participación en el sistema eléctrico nacional, empero no remonta el 10% de participación. Las energías renovables tienen una contribución menor al 10%, a pesar de que por ejemplo la geotermia fue introducida hace más de 45 años. La fuente de energía renovable más importante por nivel de penetración hasta el momento es la eolieléctrica, sin embargo, en la actualidad la biomasa con participación de 6% es mayor que la eólica, solar y geotérmicas juntas.

La transición energética en México a futuro

La figura 4 muestra un sistema ternario para señalar divergencias en la estructura del sistema energético nacional a largo plazo. Cada vértice del triángulo ilustra una situación hipotética donde toda la energía

primaria es abastecida por una forma dada de energía; en la cima la combinación de petróleo crudo y gas natural, a la izquierda la energía primaria sería abastecida exclusivamente por carbón mineral, finalmente a la derecha la generación de electricidad primaria estaría provista por una mezcla de energía nuclear y renovables incluidas la geotérmica, hídrica, solar y eólica. Los círculos resumen por décadas, la serie de tiempo de los datos usados para construir la figura 3.

Figura 4
Representación como sistema ternario del sistema energético nacional por tipo de combustible



Fuente: elaboración propia con base en la figura 3.

De manera adicional, la zona en forma de flecha en gris señala el rumbo que debería tomar la transición de seguirse las metas establecidas en la [Ley de Transición energética \[LTE\] \(2020\)](#), que en su artículo tercero transitorio mandata a la Secretaría de Energía “a fijar como

meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25% para el 2018, del 30% para 2021 y del 35% para 2024”; tales metas se señalan con “x” y se diferencian con letreos correspondientes en la figura 4. A fin de lograr dichas metas, las participaciones de petróleo crudo y gas se reducen a 75%, 70% y 65%; respectivamente; en tanto que la participación de carbón en todos los casos se mantiene por debajo del 5%.

Como ya se había mostrado en la figura 3, la figura 4 remarca que durante los últimos 50 años, el sistema energético nacional ha estado dominado por hidrocarburos, y por mera inercia se ha reducido la participación de dichos combustibles y asociados, empero, la transición ha sido lenta. Para transitar energéticamente y entre otras metas alcanzar una mayor participación de renovables, en la propia LTE se plantean líneas de acción en tres vertientes: i) ahorro y uso eficiente de energía, ii) aprovechamiento de energías limpias, y iii) desarrollo de infraestructura integradora; bajo cinco categorías: (1) investigación, desarrollo e innovación; (2) regulaciones; (3) instituciones; (4) desarrollo de capacidades y recursos humanos, y (5) mercados y financiamiento.

Estas acciones se llevan a cabo en los sectores siguientes:

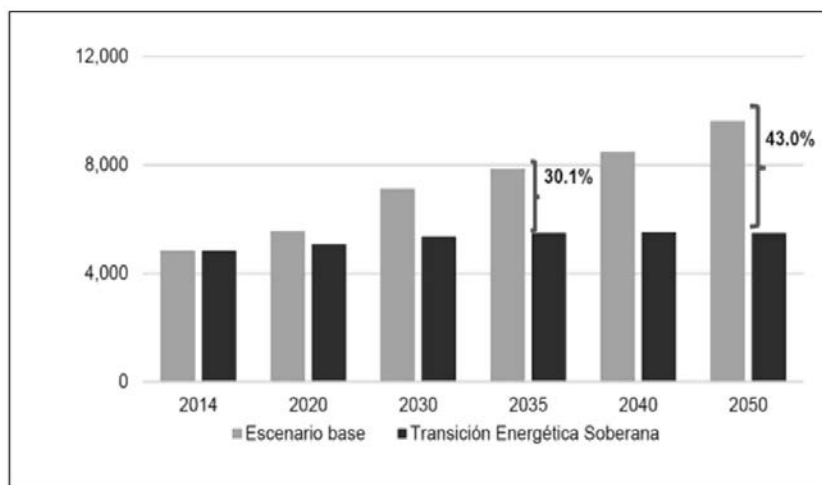
1. Transportes
2. Industria
3. Edificaciones
4. Servicios públicos municipales
5. Agroindustria
6. Electricidad
7. Doméstico

Es relevante agregar que en la LTE se consideran dos escenarios del potencial comportamiento del consumo final de energía, uno

inercial resultado de continuar con la aplicación de estrategias y acciones actuales denominado “Escenario base (EB)” y el otro emergente de la intervención de medidas y políticas públicas de eficiencia energética adicionales llamado “Escenario de Transición Energética Soberana (TES)”;

ambos escenarios se construyeron utilizando la combinación de modelos econométricos y modelos analíticos de simulación de coeficientes técnicos. Los escenarios de la LTE se comparan en la figura 5, donde las disminuciones del consumo energético entre EB y TES descansa fuertemente en la disminución del consumo final de energía, mediante cambios estructurales y ahorros de energía a través de eficiencia y autonomía energéticas. Esto es un indicativo de que no se inhibirá la actividad económica.

Figura 5
Escenarios del consumo final energético (PetaJoules)



Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), Agencia Francesa de Medio Ambiente y Gestión de la Energía (ADEME), ENERDATA como se citó en LTE, 2020.

La actualización a la estrategia de transición es sumamente reciente, va tarde dado que no se cumplió con la meta 1 y se vislumbra complicado alcanzar la meta 2 para el próximo año, cabe aclarar que las metas de la LTE fueron establecidas en 2013. De manera adicional, se corre el riesgo de incumplir los compromisos de mitigación adquiridos ante los acuerdos de París de reducir 25% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de contaminantes climáticos de vida corta (bajo un escenario *Business as Usual*) al año 2030. Este compromiso implica una reducción del 22% de GEI y una reducción del 51% de carbono negro ([Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático \[INECC\], 2018](#)). Esto porque el sector energético es el que contribuye mayoritariamente a la generación de GEIs.

No obstante y una consideración que parece tomarse a la ligera, es que el cumplimiento de las metas de incorporación de fuentes renovables está en función del estado de la red eléctrica a la que se conecta, y el estado actual del sistema energético es de rezago tecnológico e infraestructura envejecida; hacia 2019 había unidades de generación convencional que superaban los 50 años de operación, esto sin mencionar las diferencias regionales de sistemas aislados no conectados a la red, tales como los dos en la Península de Baja California. Y por cierto, el estado envejecido no es exclusivo del sector eléctrico sino se extiende al subsector petrolero; para 2008 se reportaba que la antigüedad de oleoductos y poliductos en promedio iba de 24 a 28 años, con 40% de poliductos saturados.

Así, parece haber una ausencia de preparación de los sistemas energéticos para incorporar las necesidades de la transición energética, y esto es evidenciado por la oleada de demandas que procedió al acuerdo por el que se estableció la suspensión de plazos y términos legales en

la Secretaría de Energía, como medida de prevención y combate de la propagación del coronavirus Covid-19 el 29 de abril de 2020. Y que fue promulgado por la intermitencia de plantas de energías renovables, en particular campos eólicos y solares, misma que podría traer variabilidad y riesgo de estabilidad a la transmisión y abastecimiento de energía eléctrica en especial a hospitales. Entonces, el sistema energético también requiere de flexibilidad para incorporación de fuentes energéticas no convencionales para los cuales no fue diseñado.

A propósito de facilitadores de la flexibilidad de sistemas energéticos, a fin de permitir la incorporación de generación por fuentes intermitentes como la solar y eólica a la red de transmisión, se identifican elementos como la distribución geográfica de generadores intermitentes de energía renovable, concentración de recursos, reestructuración de mercados energéticos a fin de reenumerar la flexibilidad, instalación de tecnologías de almacenamiento, refuerzo de la infraestructura que soporta la red de transmisión y distribución, desarrollo de programas de manejo del lado de la demanda y el fortalecimiento de las capacidades cíclicas de generadores termales ([IRENA, 2018](#)).

Conclusiones

La transición energética es un proceso lento que esencialmente ocurre a largo plazo, las modificaciones a los sistemas energéticos tales como la introducción de nuevas tecnologías energéticas, tardarán al menos una década en tomar la aceleración correcta para alcanzar la participación en mercado, usualmente el 30%, no el 50% inicialmente propuesto por Fisher y Pry, que sea promisoria para la substitución de una tecno-

logía establecida. Ante la experiencia de transición energética global, se recomienda precaución al esperar un cambio profundo en los sistemas energéticos actuales en los próximos 20 o 30 años. Esto no significa que no se deban hacer esfuerzos por acelerar los procesos de transición.

La recomendación de precaución va especialmente dirigida a la opinión pública que usualmente confunde el proceso de transición energética como exclusiva del sector eléctrico, que si bien es parte del sistema energético no es el único, y en términos de emisiones GEI tampoco es el más importante, ese lugar lo ocupa el sector transporte; pero por mucho el sistema energético está compuesto de subsectores cotidianos a la vida de la comunidad como es el sector agrícola y de provisión de alimentos, de la construcción y el industrial. Ello debe reconocerse para iniciar una reflexión de la profundidad que requiere la transición energética y que incluye a la sociedad.

Pero regresando a los procesos de transición energética, se ha demostrado ampliamente que su comportamiento histórico puede ser reproducido satisfactoriamente por una representación matemática de sustitución logística; como lo demuestran los procesos de sustitución global de fuentes primarias que transitaron de biomasa o biocombustibles tradicionales a carbón mineral a petróleo crudo y gas natural; aún están pendientes los procesos de transición de energía nuclear, energías renovables y biocombustibles “modernos”. En contraste, la proyección de escenarios futuros de procesos de transición de energía rebasa las bondades del modelo logístico de sustitución y requiere de aproximaciones múltiples que incluyen análisis estadísticos, modelaciones diversas y representaciones gráficas.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el advenimiento de nuevas tecnologías traerá nuevos retos y problemas de diversa índole.

le. Entre los primeros de manera urgente se encuentra la demanda de flexibilizar sistemas energéticos que no fueron diseñados para su contribución. Por su lado, algunos de los problemas asociados a nuevas tecnologías energéticas ya se han manifestado; se pueden listar la alteración de calidad del agua, desplazamiento de comunidades y pérdidas de biodiversidad causadas por la construcción de presas hidroeléctricas; o la ruptura del tejido social, erosión de suelo y mortalidad de aves relacionados a la instalación de campos eólicos; o la escorrentía de excedentes de fertilizantes y expansión de monocultivos asociadas a las cosechas destinadas a la producción de biocombustible.

En México, la transición energética ha mantenido similitudes a la global. La primera substitución llevó el uso de biomasa como fuente de energía primaria al carbón mineral hacia 1890; éste último combustible se convirtió en la fuente energética primaria predominante por cerca de 50 años para ser substituida por el petróleo crudo aproximadamente en 1940. Dicha fuente energética continúa siendo predominante en la actualidad pero parece ir perdiendo terreno ante el gas natural, que podría convertirse en la principal fuente energética en la próxima década. En términos de electricidad, ni las fuentes nucleares, ni hídricas han remontado su penetración al mercado; por su parte las energías renovables tales como la solar y eólica tienen una contribución menor al 5%, al igual que la geotermia, pese a que ésta fue introducida hace más de 45 años.

A fin de acelerar la transición energética en México se ha emitido la Ley correspondiente (LTE) en 2013, misma que ha tenido una actualización a inicios de este año, en la cual se establecen acciones y estrategias en todos los sectores de la economía. La LTE considera dos escenarios del potencial comportamiento del consumo final de energía,

uno inercial y el otro emergente de la intervención de medidas y políticas públicas de eficiencia energética; las disminuciones del consumo energético entre EB y TES que van del 30 a poco más del 40% descansa fuertemente en la disminución del consumo final de energía, mediante cambios estructurales y ahorros de energía, a través de eficiencia y autonomía energética. Esto es un indicativo de que se busca no inhibir la actividad económica y dicha aproximación es conservadora, autónoma y a mediano plazo. En este punto las metas de transición en la LTE no han sido alcanzadas y parece que no lo serán en el corto plazo.

Referencias

- Alkin, M. y Urpelainen, J. (2018), *Renewables: The Politics of a Global Energy Transition*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Álvarez, E. y Ortiz, I. (2016), La transición energética en Alemania (Energiewende). Política, transformación energética y desarrollo industrial, *Cuadernos Orkestra* 2016/15.
- Arvesen, A. y Hertwich, E. G. (2012), Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(8): 5994-6006.
- Akizu, O.; Bueno, G.; Barcena, I.; Kurt, E.; Topaloglu, N. y Lopez-Guede, J. M. (2018), Contributions of bottom-up energy transitions in Germany: A case study analysis, *Energies* 11: 849.
- Beardsworth, R. (1999), Energy and chance. Editorial, *Tekhnema. Journal of Philosophy and Technology* 5.
- Bernardi, F. (2011), *After the future*, AK Press, Oakland, CA.
- Bertiniant, P. (2016), *Transición energética justa. Pensando la democratización energética*, Análisis núm. 1/2016, FES Sindical, Friedrich Ebert Stiftung, disponible en <https://cutt.ly/smT1oXr>.
- Campbell, C. J. (2003), Industry Urged to watch for regular oil production peaks,

- depletion signals, *Oil and Gas Journal* 101(27): 38-45.
- Davis, G. (2003), Meeting future energy needs, *The Bridge* 33(2): 16-21.
- Devezas, T.; LePoire, D.; Matias, J. C. O. y Silva, A. M. P. (2007), Energy scenarios: Toward a new energy paradigm, *Journal of Futures*.
- Dorantes, R., González, H. y Vargas, R. (2015), La seguridad energética en México: un aspecto clave para la transición energética, ponencia presentada en la XXXIX Semana Nacional de Energía Solar, del 5 al 9 de octubre de 2015, Campeche.
- Elshurafa, A. M.; Farag, H. M. y Hobbs, D. A. (2019), Blind spots in energy transition policy: Case studies from Germany and USA, *Energy Reports* 5: 20-28.
- Energy Transition Commission (ETC) (2016), *Shaping Energy Transitions*, ETC.
- Estrada, C. A. (2013), Transición energética, energías renovables y energía solar de ponencia, *Revista Mexicana de Física* 59 (2): 75-84.
- Fisher, J.C., y Pry, R.H. (1970), A simple substitution model of technological change, Report 704-215, General Electric Company, Research and Development Center, Schenectady, NY.
- Folchi, M. y Rubio, M. (2006), El consumo de energía fósil y la especificidad de la transición energética en América Latina, 1900-1930, ponencia presentada en el III Simposio Latinoamericano y Caribeño de Historia Ambiental, Carmona.
- Fornillo, B. M. (2017), Hacia una definición de transición energética para Sudamérica: Antropoceno, geopolítica y posdesarrollo, *Prácticas de Oficio* 2(20): 46-53.
- Grübler, A. (2000), *Long-term energy futures: the critical role of technology*, RR-00-02, International Institute for Applied System Analysis. Laxenburg, Austria.
- Hirsch, R. L.; Bezdek, R. y Wendling, R. (2005), *Peaking of world oil production: Impacts, mitigation, & risk management*, US Department of Energy/National Energy Technology Laboratory.
- Hong, X. L.; Edwards, D. J.; Hosseini, R. M. y Costin, G. P. (2020), A review on renewable energy transition in Australia: An updated depiction, *Journal of Cleaner Production*, 242.
- Horschig, T. y Thrän, D. (2017), Are decisions well supported for the energy transition? A review on modeling approaches for renewable energy policy evaluation, *Energy, Sustainability and Society* 7(5)1: 14.
- Ibarra, R. (2015), La Seguridad Energética en México: Un aspecto clave para la

- transición energética. *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, 32, 13.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2018), Contexto internacional en materia de cambio climático, Gobierno de México, disponible en: <https://cutt.ly/mmT1SKK>.
- International Energy Agency (IEA) (2019), *World Energy Balances 2019*, IEA.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2018), *Power system flexibility for the energy transition, part 1: Overview for policy makers*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Jianchao, H.; Ruoyu, Z.; Pingkuo, L. y Lyuyang, Z. (2021), A review and comparative analysis on energy transition in major industrialized countries, *International Journal of Energy Research* 45(2): 1246-1268.
- Kittner, N.; Lill, F. y Kammen, D. M. (2017), Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition, *Nature Energy* 2.
- Kucharavy, D. y De Guio, R. (2011), Logistic substitution model and technological forecasting, *Procedia Engineering* 9: 402-416.
- Larios, A. (2015), Desarrollo y prospectivas de energía renovable en México, *Economía Informa* 390.
- Leon, M. M. (2016), Análisis del mercado del sector energético en México y su capacidad para incorporar energías alternas, disponible en <https://cutt.ly/lmT1MYA>.
- Ley de Transición Energética (LTE) (2020), Actualización de la estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios, en términos de la Ley de Transición Energética, *Diario Oficial de la Federación*, 07/02/20.
- Marchetti, C. (1977), Primary energy substitution models: on the interaction between energy and society, *Technological Forecasting and Social Change* 10: 345-356.
- Marchetti, C. y Nakicenovic, N. (1979), *The dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model*, International Institute for Applied Systems Analysis. Luxemburgo, Austria.
- Martínez, M. y Gómez, A. (2017), Vientos del capitalismo verde: globalización, desarrollo y transición energética en el Istmo de Tehuantepec (Oaxaca, México), *VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias* 41(1).
- Merchand, M. A. (2015), Estado y reforma energética, *Problemas del desarrollo* 46(183).

- Minería en Línea (2019), Principales yacimientos de carbón mineral en México, disponible en: <https://cutt.ly/dmT0siC>.
- Morales, A. C.; Pérez, M., Pérez, J. R. y De Leoén, S. (2017), Energías renovables y el hidrogeno: un par prometedor en la transición energética de México, *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 70: 92-101.
- Nakicenovic, N.; Grübler A. y McDonald, A. (1998), *Global energy perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Nordlund, L. (2008), Foundations of Life, disponible en <https://cutt.ly/YmT0lkM>.
- Oswald, U. (2017), Seguridad, disponibilidad y sustentabilidad energética en México, *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales* 62(230): 155-195.
- Pfeiffer, D. A. (2006), Oil, food and the coming crisis in agriculture, New Society Publisher. Gabriola Island.
- Porteous, A. (2008), Dictionary of environmental science and technology, 4a edición, John Wiley & Sons, West Sussex, Inglaterra.
- Rapkin, D. P. y Thompson, W. R. (2013), *Transition scenarios: China and the United States in the Twenty-First century*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Ritchie, H. y Roser, M. (2018), Energy, disponible en <https://ourworldindata.org/energy>.
- Ross, M. (2012), *The oil curse: how petroleum wealth shapes the development of nations*, Princeton University Press, New Jersey, NY.
- Salas, G. y Benavides, L. (1976), La exploración y las reservas mexicanas de carbón, Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero (ILAFA), Congreso: Usos del carbón en siderurgia: abastecimiento y tecnologías, México, 79-90.
- Salimen, A. y Vadén, T. (2015), *Energy and experience: An essay in Nafthology*, MCM, Chicago.
- Secretaría de Energía (SENER) (2012), *Balance nacional de energía 2011*, Secretaría de Energía, México, disponible en <https://cutt.ly/nmT0AMM>.
- Secretaría de Energía (SENER) (2014), *Balance nacional de energía 2013*, Secretaría de Energía, México, disponible en <https://cutt.ly/OmT0FGp>.
- Secretaría de Energía (SENER) (2016), *Balance nacional de energía 2015*, Secretaría de Energía, México, disponible en <https://cutt.ly/YmT0Len>.
- Secretaría de Energía (SENER) (2017), *Balance nacional de energía 2016*, Secretaría

- de Energía, México, disponible en <https://cutt.ly/gmT0CsG>.
- Secretaría de Energía (SENER) (2019), *Balance nacional de energía 2018*, Secretaría de Energía, México, disponible en <https://cutt.ly/XmT0N1g>.
- Simil, V. (2017), *Energy transitions: Global and national perspectives*, 2a edición, Praeger, Santa Barbara, CA.
- Skrebowski, C. (2004), Oil field mega projects-2004, *Petroleum Review* 58(684): 18-20.
- Tagliapietra, S.; Zachmann, G.; Edenhofer, O.; Glachant, J.-M.; Linares, P. y Loeschel, A. (2019), The European Union energy transition: Key priorities for the next five years, *Policy Brief* (1).
- Torres Flores, R. C. (2020), Transición energética: obstáculo o estímulo al desarrollo, *Economía UNAM* 17(49).
- Vaden, T. (2005), Oil and the regime of capitalism: Questions to philosophers of the future, disponible en <https://cutt.ly/0mT2uBh>.
- Vázquez, R. (2015), Transición energética en México. Nuevo paradigma socioambiental, *Revista Rúbricas* 12(3): 11-15.
- Villegas, J. L. (2019), Transición energética en América Latina, ¿una opción postergada? *Revista Argentina de Derecho de la Energía, Hidrocarburos y Minería* 21: 97-120.
- Villareal, J. y Tornel, C. (2017), La transición energética en México: retos y oportunidades para una política ambientalmente sustentable y socialmente inclusive, FES análisis, Friedrich Ebert Stiftung.
- Villavicencio, D. H. y Millán, J. C. (2020), La transición energética en México: disyuntivas, tensiones y avances en la ejecución del proyecto nacional, *Caravelle* 15: 25-40.
- Vita, G.; Tijerina, W.; Hernandez-Paz, A.A.; Berlanga Ramírez, J. H. *et al.* (2019), Perspectivas globales para la transición energética de México: Retos de gobernanza y sustentabilidad, SSRN, disponible en <https://ssrn.com/abstract=3497822>.
- World Economic Forum (WEF) (2018), *Fostering effective energy transition. A fact-based framework to support decision-making. With analytical support from McKinsey & Company, Insight Report*, disponible en <https://cutt.ly/dmT2vYU>.

CAPÍTULO 12

La reforma energética y su influencia en la implementación de la energía solar en las PYMES con tarifa 02 en México

Elda Vannessa Aguirre Hernández
Miguel Ángel Martínez García
José Carlos Trejo García

La presente investigación nace del proyecto de tesis de [Aguirre \(2020\)](#). La energía eléctrica es una condición necesaria para el desarrollo de toda economía. En México este proceso de generación está cimentado en el uso de combustibles fósiles como el petróleo, gas y carbón que, al ser provenientes de fuentes naturales no renovables, plantean ser un importante reto de abastecimiento energético a futuro. Por esto se perfila a la diversificación de la matriz energética como una prioridad, donde la generación y el consumo de energía eléctrica se base en el aprovechamiento de los recursos renovables con los que cuenta el país.

La Reforma Energética fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de diciembre de 2013, con la finalidad de promover un modelo de transición basado en principios técnicos y económicos, bajo la conducción y regulación del Estado. Este modelo propone una producción de energía más limpia y a menor costo, el aprovechamiento racional y sustentable de los recursos naturales, la protección al medio ambiente, un aumento en la transparencia y la competitividad del sector eléctrico, caracterizado por un consumo activo-responsable por parte del usuario final, mediante el aprovechamiento de las energías renovables limpias.

Una de las alternativas que ofrece este modelo es la generación distribuida, aplicada por medio del manual de interconexión de centrales de generación con capacidad menor a 500 kW (DOF, 2016). Su propósito es establecer los lineamientos para la generación de energía eléctrica a pequeña escala, a través de sistemas solares fotovoltaicos instalados en puntos cercanos al área de consumo. Es dirigido objetivamente a los usuarios que sufragan el costo total de la generación, transmisión, distribución, comercialización y control de la energía eléctrica proveniente de la Comisión Federal de Electricidad, es decir, el sector tarifario general de baja tensión no subsidiado.

Cumpliendo con lo anterior, el presente estudio se focaliza en el sector más representativo por cantidad de usuarios: las pequeñas y medianas empresas en México (PyMEs) o también conocidas como usuarios de tarifa 02 en el Sistema Eléctrico Nacional (DOF, 2014). A finales del 2017, este sistema presentó un registro aproximado de 4.1 millones de PyMEs, de las cuales 10,120 empleaban el modelo de generación limpia a pequeña escala, mediante el aprovechamiento de la energía solar. Por las razones anteriores, es de suma importancia

observar el comportamiento de los usuarios respecto a esta modalidad, así como el panorama de eficiencia una vez instalado el sistema solar fotovoltaico.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es analizar el impacto de la implementación de la energía solar para usuarios PyMEs con tarifa 02 en el sector comercial, esto a partir de la Reforma Energética publicada en 2013. Se expone el vínculo directo entre el sector energético y el aspecto económico, atribuyendo las aplicaciones de la energía solar de forma real con un análisis descriptivo respecto a la interacción de los usuarios, referente a la efectividad de los sistemas solares fotovoltaicos, instalados durante el periodo de 2014 a 2017. Adicionalmente se considera el aspecto cualitativo de otras variables y conceptos que se vinculan en este proceso con la ayuda de una matriz semántica conceptual. Por último, se incluyen algunas recomendaciones que exhiben medidas adicionales y el reforzamiento de estas por parte del Gobierno Federal.

Diversificación y generación de energía eléctrica con sistemas solares fotovoltaicos por usuarios PyMes con tarifa 02

En la ciencia económica, el método estadístico descriptivo tiene un papel primordial al sustentar y confeccionar planes de desarrollo, como en el caso de la matriz energética y su diversificación. Se considera un facilitador en el cumplimiento de estrategias y la aplicación apropiada de instrumentos gubernamentales, donde la observación de su comportamiento se realiza con ayuda de la compilación y descripción de datos que, consecuentemente, se exponen como un apoyo para la toma de decisiones de dichos fenómenos.

La estadística es una rama en la ciencia matemática aplicada que permite interpretar información por medio de un conjunto de datos con la singularidad esencial de la variabilidad, facilitando el estudio de una o varias características de algún sector y que pueden expresarse numéricamente como variables aleatorias cuantitativas continuas. En este trabajo, el sector energético mexicano está en indagación, específicamente en la generación distribuida de energía eléctrica, empleando sistemas solares fotovoltaicos (SSFVI) en los usuarios PyMEs con tarifa 02. La interpretación de esta información y la minuciosa atención al ordenar y resumir los datos facilitó el análisis, permitiendo conocer de manera focalizada cómo ha sido el desarrollo de la implementación de la energía solar una vez puesta en marcha la Reforma Energética del 2013.

En el 2014 se presentaron los primeros 650 registros de usuarios PyMEs con tarifa 02 en la generación distribuida ([CRE, 2018](#)), empleando la energía solar como medio de autoabastecimiento de energía eléctrica. A continuación se analiza su comportamiento anual, referente a la capacidad instalada y la generación final de energía indicada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) durante los primeros 60 días de su implementación a partir de 2014 (un año después de la publicación de la Reforma Energética) hasta 2017; con la intención de observar el aprovechamiento de los SSFVI, según su efectividad de generación de energía eléctrica. Bajo el análisis simple de eficiencia, se propone y calcula inicialmente la eficiencia efectiva en este trabajo como:

$$Efic_e = \frac{GT}{CI}, \quad (1)$$

donde $Efic_e$ es la eficiencia relativa de un SSFVI, y se interpreta como la proporción o relación cuantitativa, como resultado de los términos de desempeño de generación de energía eléctrica y la entrada de radiación solar. GT (generación total) es la producción de energía eléctrica por el proceso de captación de radiación solar de los SSFVI en un periodo de tiempo (60 días, fecha de registro de corte de CFE). CI es la capacidad instalada y representa la potencia nominal que el SSFVI generará en un periodo de tiempo dado (60 días, fecha de registro de corte de la CFE).

Adicionalmente, se considera el siguiente factor para reflejar un escenario más adecuado por año, donde se especifica que el recurso por horas pico (HSP) es el aprovechamiento del recurso solar, y varía dependiendo de la ubicación geográfica y la época del año (antes mencionado como radiación solar). El promedio de HSP es de 5.5 horas diarias.

Por último, y como consecuencia, difícilmente se logra una eficiencia efectiva del 100% de la capacidad de generación de energía de los SSFVI; se propone y obtiene un indicador ajustado de eficiencia a fin de facilitar el análisis. Éste es igual a:

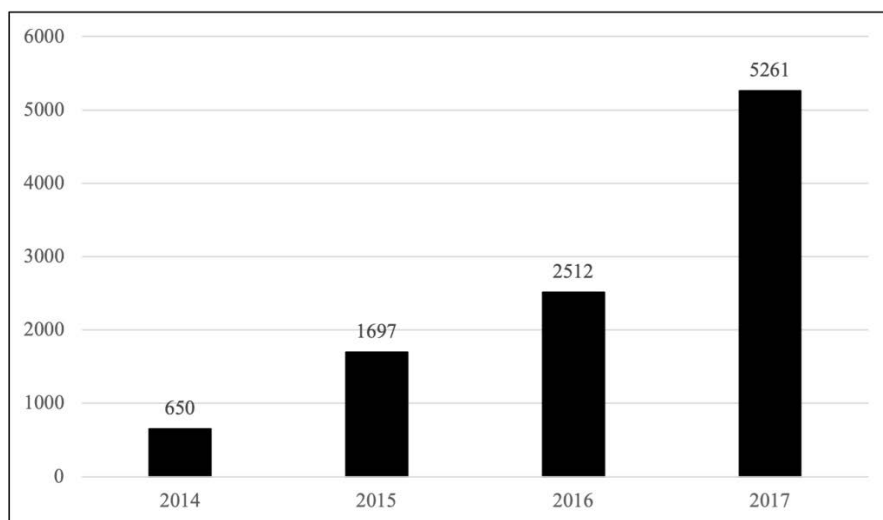
$$Efic_a = 1.25 * Efic_e, \quad (2)$$

donde $Efic_a$ es la eficiencia ajustada de un SSFVI, y se considera una eficiencia del 80% (estimando un factor de pérdidas de tensión regularmente definido en el 20%). Existen, aunque en minoría, SSFVI con mayor eficiencia. Se considera el 80% como el 100%, que se observa en las figuras con el valor de 1.

Una vez obtenida la eficiencia ajustada, la atención radica en la evolución de registro de usuarios PyMEs con tarifa 02 (figura 1), haciendo uso de la generación distribuida en el mismo periodo de análisis.

Además, se incluyen acontecimientos relacionados con la política, legislación y aplicación de instrumentos que permitieron, de forma general, una mayor participación de las energías renovables, incluyendo particularmente el desarrollo de la energía solar.

Figura 1
Número de usuarios PyMEs con tarifa 02
registrados por año en el uso de SSFVI

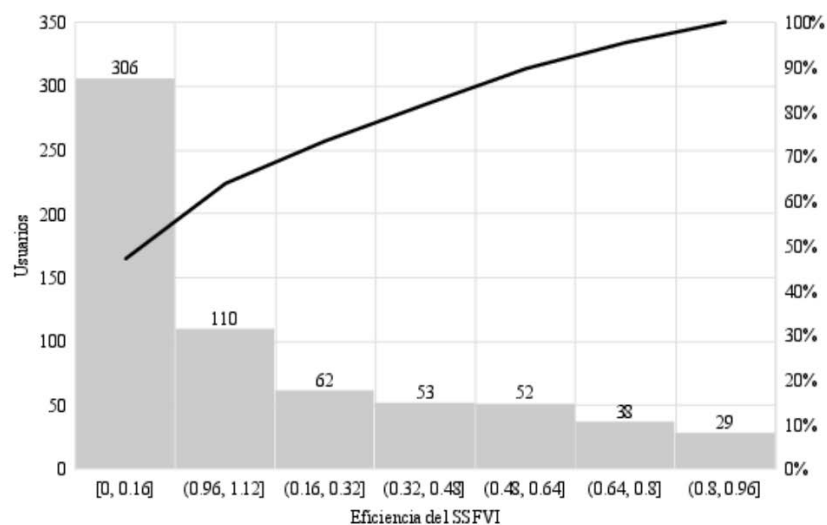


Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), 2018.

A continuación, se priorizan y presentan los resultados con la ayuda de un diagrama de Pareto, también conocido como curva cerrada o distribución a-b-c. Este diagrama de barras organiza y muestra gráficamente el principio de Pareto con pocos vitales a la izquierda y muchos triviales a la derecha, permitiendo agilizar comparaciones, establecer ordenadamente prioridades en la toma de decisiones y mostrar

tendencias en los logros o fallas en la implementación de los SSFVI a pequeña escala. La información sobre el autoabastecimiento de energía eléctrica compilada por la CFE es presentada por primera vez en 2014 con un registro inicial de 650 usuarios tarifa 02. Como se observa en la figura 2, aproximadamente el 50% de las PyMEs que instalaron un SSFVI mostraron un nivel de eficiencia bajo, retomando el valor óptimo de 1 o muy cercano a él.

Figura 2
Clasificación de usuarios de PyMEs con tarifa 02
por eficiencia del SSFVI en 2014



Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), 2018.

Bajo esta línea, se mencionan algunos acontecimientos políticos legislativos relevantes que influenciaron positivamente los resultados

consiguientes examinados durante el periodo de análisis sobre el comportamiento inicial de las PyMEs con tarifa 02:

- i. En el Diario Oficial de la Federación (DOF) se ordena en 2013 y se aplica en 2014 que el servicio público de transmisión, distribución, planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se mantenga como actividad exclusiva del Estado, permitiendo únicamente la generación de energía por parte del sector privado.
- ii. La Ley de Industria Eléctrica (LIE) establece un régimen de libre competencia para la generación y comercialización de energía eléctrica por parte de empresas privadas nacionales e internacionales.
- iii. La Ley Orgánica de Administración Pública señala que le corresponde a la Secretaría de Energía (SENER), bajo criterios de soberanía nacional, la coordinación y establecimiento de la política energética del país, teniendo como prioridad la seguridad, diversificación energética y la protección del medio ambiente, promoviendo una mayor participación de las energías renovables.
- iv. La Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética plantea las bases para el mejor funcionamiento y organización del principal órgano regulador: la Comisión Reguladora de Energía (CRE), con el propósito de promover un sector energético eficiente y competitivo.
- v. Se decretan los lineamientos y criterios de otorgamiento y adquisición de los Certificados de Energías Limpias (CEL) emitidos por la CRE; donde 1 CEL acredita la generación de 1 MWh de energía eléctrica a partir de tecnologías limpias.
- vi. El Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de Energía 2014-2018 (PRONASE) establece estratégicamente una vi-

sión de producción de energía eléctrica limpia, óptima y eficiente, cuyo uso en actividades o procesos incluya una cultura del ahorro, investigación y desarrollo de nuevas tecnologías desde su explotación hasta su consumo final.

- vii. Inicio del registro y el ordenamiento administrativo-técnico por parte de la CFE para los usuarios denominados: generadores exentos por la LIE, que hacen uso de la generación distribuida como medio de producción de energía eléctrica.

En 2015 se determinó en el DOF, la Interconexión de Centrales Eléctricas o de Conexión de Centros de Carga, a la red general de distribución, y se adecuaron los procedimientos de administración, operación y planeación, con lo cual se incorporaron 1,697 usuarios PyMEs a la generación de energía eléctrica a pequeña escala. Prácticamente se perciben los efectos de la normativa del año anterior en una mayor distribución de los usuarios tarifa 02 en la figura 3, aunque se muestra la tendencia del año anterior donde aproximadamente el 35% de las PyMEs se encuentran en un nivel de eficiencia bajo.

Se presentan ordenamientos adicionales mejor focalizados y concisos a complementar la legislación precedente. Dentro de los más relevantes se encuentran:

- i. Se publica en el DOF la Ley de Transición Energética (LTE) con el objetivo de promover una mayor participación de las energías limpias en la industria eléctrica de forma gradual para generar una menor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), promover el aprovechamiento sustentable de la energía de consumo final y mejorar los procesos de transformación manteniendo la competitividad de los sectores productivos.
- ii. El Programa Especial para la Transición Energética (PETE), pro-

- veniente de la LTE, brinda la instrumentación adecuada para ejecutar la planeación a través de su viabilidad económica. Este programa establece objetivos estratégicos como el aumentar la capacidad instalada y la generación de energía limpia, expandir y modernizar la infraestructura, incrementar la generación distribuida de energía eléctrica e impulsar el desarrollo tecnológico, así como democratizar el acceso a las energías limpias (SENER, 2017).
- iii. El programa de Fomento de Energías Renovables plantea una producción de energía eléctrica con recursos naturales renovables, que busca alcanzar objetivos ambientales, económicos y sociales como la baja o nula emisión de GEI, la reducción de tarifas, la generación de empleos directos y la posibilidad de llevar energías a comunidades remotas.
 - iv. Se establecen las disposiciones sobre los procedimientos y normas por parte de la LIE que deben seguir los GE, definiendo la mecánica bajo la cual se llevará a cabo el análisis y atención de los estudios de interconexión de centrales a pequeña escala, a la red general de distribución.

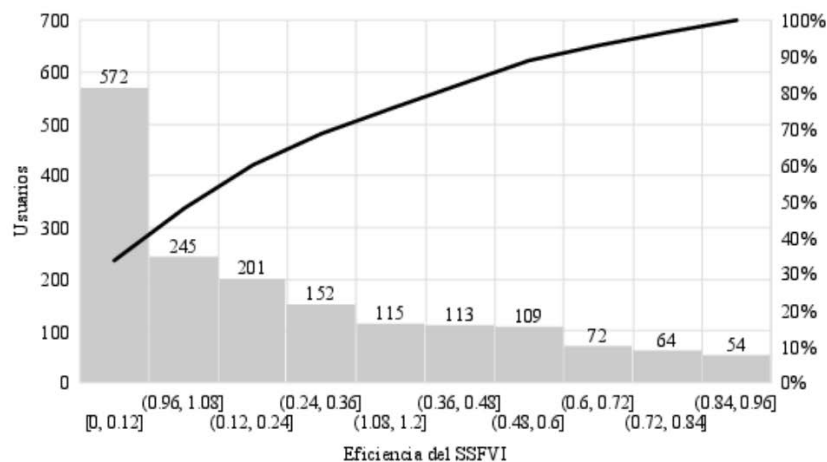
No obstante, en 2016 se reestructuró el instrumento de generación a pequeña escala aplicado con anterioridad. Es denominado formalmente como el Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 500 kW (DOF, 2016), a efecto de precisar las disposiciones que se aplicarán a la generación distribuida para los usuarios anteriores y para los 2,512 nuevos usuarios tarifa 02 registrados en el SEN.

Dicho manual consiste en direccionar y regular el funcionamiento sistematizado de la tecnología empleada en los SSFVI, siendo de di-

seño e instalación relativamente sencilla y con un mínimo de mantenimiento. Los SSFVI captan la radiación solar, la convierten en electricidad y la distribuyen automáticamente en tres pasos (AMB, 2017):

1. Los paneles solares fotovoltaicos captan y transforman la radiación solar en energía eléctrica de corriente directa.
2. La energía se canaliza a través de un inversor que la transforma en energía de corriente alterna lista para ser consumida.
3. La energía eléctrica generada es registrada por un medidor bidireccional y entregada a la red de distribución de la CFE.

Figura 3
Clasificación de usuarios de PyMEs con tarifa 02
por eficiencia del SSFVI en 2015



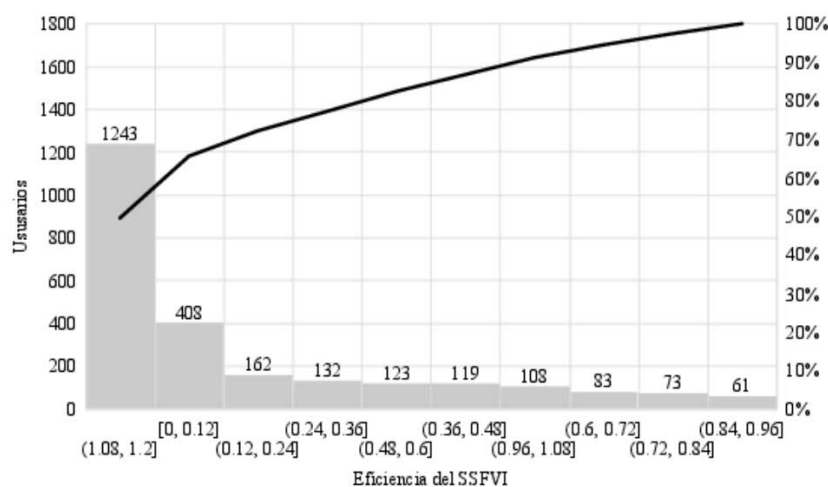
Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), 2018.

En el caso donde el usuario llegase a consumir electricidad de la red general de distribución de CFE, el medidor bidireccional cumplirá

la misma función que un medidor convencional, registrando la entrada de energía eléctrica antes de ser consumida.

El propósito principal de este instrumento es que las PyMEs aprovechen correctamente su SSFVI, autosatisfaciendo en gran parte o completamente sus requerimientos de energía eléctrica. Como se observa en la figura 4, el 50% de los usuarios tarifa 02 presentan un nivel de eficiencia óptimo, considerando en los resultados la implementación de tecnologías más efectivas, aunque como se menciona con anterioridad, son una minoría.

Figura 4
Clasificación de usuarios de PyMEs con tarifa 02
por eficiencia del SSFVI en 2016



Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), 2018.

Asimismo, se mencionan diversas normativas dirigidas específicamente a la generación de energía solar a pequeña escala por medio de SSFVI y algunas disposiciones adicionales.

Con el objetivo de proveer energía a todos los usuarios a precios competitivos y accesibles, se pone en marcha el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), donde los interesados pueden comprar y vender energía, potencia o CEL, entre otros. Se comercializa en tiempo real siempre y cuando se cumplan los requisitos que marca la ley para participar en el mercado:

- i. El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) es el responsable de operar el MEM. Revisa y actualiza las disposiciones de funcionamiento, realiza subastas para la celebración de contratos, otorga permisos y forma asociaciones para la ampliación de la infraestructura necesaria para prestar el servicio público de transmisión y distribución de energía.
- ii. La CRE se encarga de expedir las tarifas e identificar los sectores tarifarios por el servicio público de transmisión y distribución de energía. Emite nuevas disposiciones y especificaciones técnicas propuestas y elaboradas por el CENACE, respecto a la medición y aplicación de las instalaciones de SSFVI.
- iii. La LTE se compromete a incrementar la participación de las energías limpias a pequeña escala, gracias a la mejora del marco legal y fiscal como oportunidad de promoción para el aprovechamiento de la generación distribuida mediante SSFVI.
- iv. El Laboratorio Nacional de Energías Renovables del Departamento de Energía en Estados Unidos, por sus siglas en inglés NREL (*The National Renewable Energy Laboratory*) elabora bases de datos y mapas donde se observan los niveles de radiación

que recibió México durante el periodo 1998-2014, aplicando proyecciones de espectrometría satelital y complejos modelos matemáticos.

- v. La Ley de Impuesto sobre la Renta en el Artículo 34, apartado XIII, establece que el 100% del gasto en el equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables es deducible de impuestos (DOF, 2016).

Finalmente, en 2017 y después de todos los ajustes previos realizados para beneficiar a la generación distribuida, el panorama resulta propicio. El 58% de los 5,261 usuarios PyMEs con tarifa 02 registrados, se encuentran en un nivel de eficiencia óptimo en el empleo de sus SSFVI, como se muestra en la figura 5.

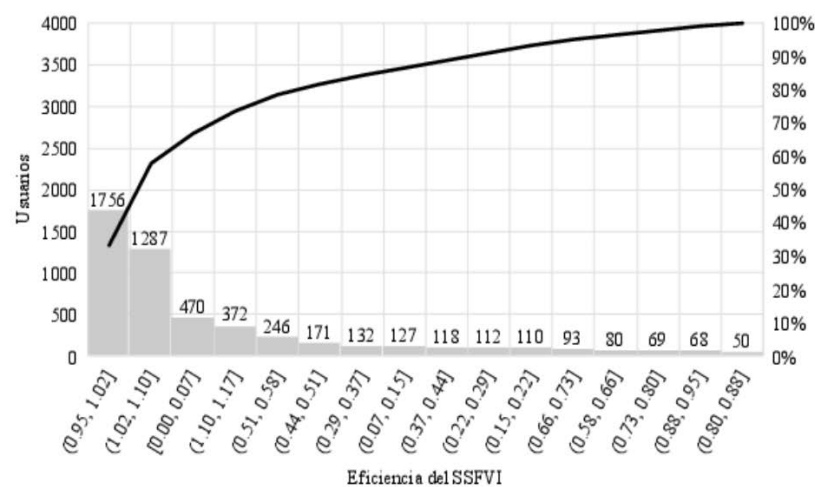
La CFE establece un registro especializado referente a la capacidad y tecnología solar, dando como resultado un panorama administrativo y regulatorio conciso. Se presentaron además nuevas fuentes de información adicionales para reforzar la implementación de energía solar mediante el Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 500 kW:

- i. Inventario Nacional de las Energías Limpias (INEL). Una herramienta tecnológica útil para obtener datos sobre el potencial de las energías renovables limpias que pueden ser aprovechadas para generar electricidad a través de mapas interactivos, clasificándolas por su tipo de potencial.
- ii. El Atlas de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL) muestra las zonas o regiones que tienen mayor potencial para la generación de energía eléctrica, proporcionando información sobre la disponibilidad de recursos, principalmente para el desarrollo de proyectos a pequeña y gran escala con uso de tecnologías

como la solar, eólica, geotérmica y de biomasa. También dimensiona datos sobre proyectos de ampliación y modernización de la red general de distribución.

Una vez considerado el aspecto cuantitativo, se examina a través de una matriz semántica conceptual la posible relación e influencia que comprenden diversos conceptos y variables cualitativas relevantes en estudio.

Figura 5
Clasificación de usuarios de PyMEs con tarifa 02
por eficiencia del SSFVI en 2017



Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), 2018.

Análisis semántico de la relación entre variables energéticas en el contexto de la Reforma Energética del 2013 en México

Una problemática es una dificultad que no puede resolverse automáticamente, sino que requiere de una investigación conceptual o empírica.

Bunge (1959)

De forma general, una matriz bidimensional o de entrada doble permite introducir de manera gráfica la información bajo estudio y así indagar similitudes, diferencias o relaciones de manera semántica. El siguiente análisis conceptual (cuadro 1), fundamenta en una organización básica las relaciones entre las variables de la investigación: la Reforma Energética (2013), la generación de energía solar mediante SSFVI y las PyMEs que pertenecen a la tarifa 02 con diversos conceptos, fenómenos e ideas que se presentaron durante 2014-2017. El propósito de la matriz es establecer conclusiones importantes sobre el tema, considerando la intersección entre filas y columnas de diversos argumentos entre las variables; se consideran desde atributos estructurales o desde sus relaciones generales y específicas, logrando una mayor consistencia en el análisis de la problemática de la implementación de la energía solar en el sector comercial en los usuarios PyMEs en México.

En resumen, se observa la influencia que presenta la generación de energía eléctrica mediante SSFVI. En relación con otros conceptos, denota la importancia de su vinculación para obtener resultados, así como para la toma de decisiones en aspectos a considerar en el ámbito legislativo que promuevan una transición energética y el uso de la energía solar principalmente.

Matriz semántica conceptual de fundamento de variables energéticas en el contexto de la Reforma Energética de 2013

Variables Conceptos	Reforma Energética	Generación de energía solar mediante SSFVI	Usuarios PyMEs con tarifa 02	Inferencias de resultado
La energía eléctrica como estrategia en la economía	Propone el mejoramiento en el bienestar de todos los usuarios especialmente en las PyMEs, promoviendo una transición en el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) a energías renovables (solar, hidráulica, eólica, biomasa, etcétera).	Considera el uso eficiente de recursos energéticos naturales más factibles y abundantes en el país, promoviendo un sector de producción de energía eléctrica eficiente y de abastecimiento continuo para todos los usuarios.	Cada área de desarrollo de las PyMEs (manufactura, comercio, servicios, construcción, etc.), requiere el uso de recursos energéticos para producir un bien o servicio. Plantea una regulación económica-técnica más enfocada y personalizada por usuario y tecnología.	Se relaciona directamente con la economía del bienestar. Sugiere el uso eficiente y sustentable de los recursos energéticos en la búsqueda de menores costos en la generación de energía eléctrica y que su consumo maximice la utilidad de los usuarios al comprar o vender un bien o servicio.
Legislación secundaria	Bajo criterios de soberanía nacional, se prioriza la seguridad y diversificación energética del país. Además, promueve el ahorro de energía y la protección del medio ambiente por medio de leyes como la LIE y LTE.	Establece la libre competencia para la generación y comercialización de energía eléctrica a pequeña escala. Retoma que el servicio público de transmisión, distribución y control del SEN se mantienen como actividades exclusivas del Estado.	La LTE nombra a los usuarios que implementan la generación distribuida, esto como medio de abastecimiento energético y como generadores exentos. También les permite la celebración de contratos de venta de excedentes de energía eléctrica por medio de los CEL.	Diversas legislaciones presentan un mayor impacto en el sector y la industria, priorizando la eficiencia económica-técnica de la energía eléctrica. Además de generar el acercamiento de los usuarios al MEM por la mediación de organismos reguladores (CENACE y CRE).
Políticas públicas	Se impulsa el uso de las energías renovables por medio de estrategias, programas y normas que permiten al sector eléctrico desarrollarse de manera sustentable, así como la diversificación de la matriz energética (Programa de Fomento de Energías Renovables, PRONASE y PETE).	Se promueve el aprovechamiento de las energías renovables con fuentes de mayor disponibilidad y con menores impactos ambientales y sociales, además de ser fácilmente transformados en energía. Caso: implementación de SSFVI para la captación de radiación solar.	El PRONASE a través de estrategias, metas, objetivos y normas permiten a todos los usuarios incluyendo a las PyMEs el acceso de forma regulada y organizada a la generación distribuida y a los procesos de producción, transformación y distribución de la energía generada.	Como resultado de la legislación precedente, se inicia el registro oficial de 650 usuarios PyMEs. Hubo respuesta positiva a los programas iniciales que les brindan alternativas factibles para satisfacer sus necesidades de electricidad (figura 1).

Cuadro 1
Continuación

Variables Conceptos	Reforma Energética	Generación de energía solar mediante SSFVI	Usuarios PyMEs con tarifa 02	Inferencias de resultado
Instrumentos de promoción	Son planteados con el objetivo de hacer tangibles los resultados que se buscan. Se plantean en la legislación secundaria como la promoción de una mayor participación de las energías renovables en el sector de generación de energía eléctrica a pequeña escala.	Herramientas como el AZEL y el INEL, lograron mostrar el potencial de la radiación solar aprovechable en México (5.5 kWh/m ² en promedio por día), IRENA (2017). La venta de CEL por parte de los generadores exentos busca promover la implementación de SSFVI para los usuarios.	El Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 500 kW, permite a los usuarios PyMEs producir su propia electricidad y vender sus excedentes. Establece los lineamientos y contratos a seguir para la apropiada conexión a la red general de distribución de CFE.	La focalización en el manejo de instrumentos dirigidos a los usuarios con tarifa 02 generó el registro de 4,209 nuevos usuarios (figuras 2 y 3). Se reconoce la importancia de los recursos renovables como fuente de generación eléctrica por zona y el manejo de sus tecnologías.
Precios y consumo de energía eléctrica convencional	Se buscó impulsar la inversión con la apertura del mercado energético a empresas privadas nacionales e internacionales, para la producción de energía eléctrica a pequeña y gran escala con la intención de disminuir los precios de la energía eléctrica.	La comercialización de electricidad le corresponde al Estado y la CFE, con la finalidad de reducir los costos y obtener el mayor rendimiento posible en beneficio de los usuarios. Amado a esto, en las tarifas no subsidiadas (como la 02 del sector comercial), lo anterior tiene un menor efecto.	Al ser una tarifa no subsidiada, los usuarios PyMEs sufragan los costos totales por parte de CFE, incluyendo un cargo fijo y el IVA reflejado en el monto total a pagar que se realiza (cada dos meses). Se considera a la tarifa 02 como una de las más altas del mercado eléctrico.	El consumo de energía eléctrica por medio de SSFVI aumentó en 2018 (figura 4). Demostró consistencia en la importancia de la energía eléctrica para los nuevos 5,261 usuarios PyMEs que la requieren para generar bienes y servicios acorde a su sector de participación económica.
Inferencias de resultado 2014-2017	Se observó una mejora de la normatividad desde su publicación. Las estrategias y programas que se han puesto en marcha han mostrado resultados favorables incluso en el corto plazo; entonces su efectividad tendrá una mayor notoriedad en el largo plazo (Figura 1).	Es una energía factible en todo el territorio mexicano para su aprovechamiento en proyectos a pequeña (Gráfico 1, 2, 3 y 4). Por su fácil instalación y mantenimiento, los SSFVI se consideran asequibles, eficientes y de abastecimiento seguro gracias a su interconexión del sistema a la red general de distribución.	Su participación dentro de la economía es clave, por eso el manual de interconexión busca la autogeneración y venta de excedentes de energía solar como apoyo a los altos costos de la energía convencional no subsidiada: tarifa 02, además de favorecerles mediante regulación y considerarlos como generadores exentos.	La Reforma Energética, como se observa, ha beneficiado a los usuarios con las tarifas más altas: las PyMEs. Al ser consideradas como la base de la economía mexicana, es importante que reciban un apoyo en un bien que perciben como de primera necesidad al ser utilizado como materia prima en sus procesos productivos.

Fuente: cálculos propios con base en datos del INEGI.

Discusión

Diversas investigaciones plantean tendencias y perspectivas del comportamiento en la implementación de la generación distribuida a pequeña escala, en cada una de ellas se externa un escenario que, con base en los resultados obtenidos y analizados en conjunto en el apartado de conclusiones de este trabajo, se observa un recorrido afín, aunque con la diferencia de la generalidad como factor diferenciable con el presente trabajo.

Es necesario discutir algunos aspectos de gran importancia respecto a la capacidad instalada en 2014, justo cuando las energías renovables comenzaban a tener una mayor presencia en la matriz energética, se notó un aumento considerable durante los siguientes tres años en la generación de energía eléctrica proveniente de SSFVI. Iniciando con 61 MW a 304 MW en 2017 de capacidad instalada, incluyendo todos los sectores tarifarios. Lo relevante fue la importante participación de los 10,549 contratos de interconexión en mediana y pequeña escala que no requieren un permiso de generación eléctrica ([GIZ, 2017](#)).

Este incremento está relacionado con la evolución de la generación de energía solar, que tomando en cuenta fuentes de información como el PRODESEN ([2018](#)) y la Agencia Internacional de Energía ([IEA, 2016](#)), tienen un pronóstico positivo. Señalan que para el año 2030 la generación solar podría alcanzar entre 7.2 GW y los 19 GW en el mejor escenario, considerando ampliamente la importancia de impulsar las principales zonas de implementación de este modelo como clave para la aplicación del manual de interconexión y de proyectos a gran escala.

El principal foco de atención es la zona norte del país, aunque se aclara que todo el territorio mexicano cuenta con el potencial solar adecuado para la inversión y aplicación de estos proyectos de interconexión. No obstante, la variación en que se presentan los SSFVI en este trabajo, se explica no solo por el factor solar, sino también por el del diseño y materiales de construcción del sistema ([GIZ, 2017](#)).

En 2017, la diferencia entre un sistema de captación de radiación solar fijo y uno con seguimiento solar fue de 25.8% de eficiencia, dado que son programables para seguir una cierta trayectoria acorde a la hora y estación del año que permita una mayor captación de radiación ([Pelayo *et al.*, 2017](#)). Resultando beneficioso para los generadores exentos, ya que representó un incentivo durante el periodo de estudio al incremento de contratos de interconexión.

En suma, se establece abiertamente que el costo-beneficio de esta tecnología es aceptable por el bajo precio de las celdas solares empleadas en el SSFVI, señalando viable su implementación. Por otra parte, y desde un panorama teórico, [Zweifel *et al.* \(2017\)](#) considera la perspectiva del rango óptimo de Pareto como medio de atender y analizar de mejor manera los datos disponibles. La eficiencia logra que los factores de producción que se utilizan como son los SSFVI y la radiación solar, se empleen de tal manera que se alcanza un máximo de producción posible.

El factor optimizador es necesario de incluirse, ya que se espera que las mejoras realizadas en los proyectos de generación de energía eléctrica, a través del recurso solar, tengan un impacto considerable en eficiencia. Aunque existe una gran variedad de enfoques para la medición de la eficiencia energética, se consideró ampliamente la idea de [Zweifel *et al.* \(2017\)](#), donde la cantidad de energía producida se

puede convertir en trabajo (pero sin definir este último), en lugar del factor termodinámico. En el presente estudio únicamente se expone la eficiencia energética a razón de la capacidad instalada y la generación de energía señalando el sector tarifario en el cual se emplearon los SSFVI, pero no se plantea cuál es su finalidad de producción.

Es decir, la producción de energía útil por una entrada de energía o, para efectos de este trabajo, la radiación solar. Es importante mencionar que se adecuó el tratamiento o manejo de los datos con el fin de darles un sentido económico, pero principalmente buscando consolidar el contexto teórico y práctico.

Conclusiones

El desarrollo de esta investigación permitió analizar a nivel general la evolución de la Reforma Energética publicada en 2013. El estudio se enfocó en analizar conceptualmente el desarrollo y aplicación de la tecnología solar fotovoltaica en los usuarios PyMEs con tarifa 02 del sector comercial que emplearon la generación distribuida, a través del instrumento gubernamental: Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 500 kW.

La implementación de SSFVI mostró un relevante incremento en 2014, donde se reconocen las primeras 650 PyMEs y en 2017 con 10,120 de ellas en esta modalidad. Exteriorizando que el autoabastecimiento ha sido atractivo por su continuidad y seguridad, recordando que los sistemas están interconectados a la red general de distribución de CFE.

Además, se reconoce la importancia del conocimiento de los niveles de radiación a nivel nacional gracias a herramientas como el INEL y el AZEL que, simultáneamente permitieron un mejor aprovechamiento

del recurso solar a nivel nacional, favoreciendo la eficiencia de aplicación de los SSFVI.

Siguiendo en esta línea, se observa en el análisis de las figuras “Clasificación de usuarios PyMEs con tarifa 02 por eficiencia del SSFVI en 2014” y “Clasificación de usuarios PyMEs con tarifa 02 por eficiencia del SSFVI en 2017” una diferencia marcada por el valor de eficiencia óptimo, es decir, el valor de 1 o muy cercano a él.

En el 2014, cerca del 50% de las PyMEs (306) se encontraron en un nivel bajo de eficiencia a comparación del año 2017, donde los resultados mostraron que el 58% de estos usuarios (3,043) lograron alcanzar el nivel de eficiencia de generación óptimo, considerando su capacidad instalada. Es decir, que generaron una mayor cantidad de energía considerando el recurso solar y la tecnología de los SSFVI.

Es relevante recordar la importancia de las PyMEs dentro de la economía y sus diferentes áreas de desarrollo porque pertenecen al sector tarifario no subsidiado. A razón de esto, la oportuna administración y aplicación de leyes, programas e instrumentos como el otorgamiento y venta de CEL, han logrado difundir una mayor promoción de la generación distribuida para el sector comercial a través de fuentes renovables más factibles de emplear, como lo es el recurso solar, que en el largo plazo logren generar mayores beneficios por su implementación.

Por otra parte, la importancia de analizar una problemática desde el ámbito cualitativo radicó en conocer la relación que tienen diversos factores que están presentes en el progreso de la diversificación de la matriz energética. Se observó en conjunto, que los actores de este estudio han logrado cambios significativos observables en el largo plazo principalmente, es decir, este proceso requiere de tiempo para que los resultados sean tangibles.

Finalmente, se recomienda persistir en el fortalecimiento de las políticas públicas y que los instrumentos gubernamentales continúen estimulando el uso de la energía solar fotovoltaica a pequeña escala a través de SSFVI; por medio de una ejecución y diseño más convenientes para impulsar la diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica, mediante la innovación en la adaptación de energías renovables limpias para así fortalecer el mercado energético interno (con menores costos y aumento en su producción alternativa).

Referencias

- Aguirre, E. V. (2020), Implementación de la energía solar en el sector comercial para consumidores pymes con tarifa 02 en México, Tesis de pregrado nivel Maestría, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Asociación de Bancos de México (2017), Mercado de energía fotovoltaica de baja escala, generación distribuida, disponible en: <https://cutt.ly/omKf9k6> (13 de septiembre de 2019).
- Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, A.C. (2017), Energía solar en México: potencial y aprovechamiento, disponible en <https://cutt.ly/jmKf7QK> (1 de noviembre de 2019).
- Comisión Federal de Electricidad (2018), Datos abiertos de CFE, disponible en <https://cutt.ly/KmKgqAX> (31 de octubre de 2019).
- Comisión Reguladora de Energía (2018), Reporte de confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2017, disponible en <https://cutt.ly/jmKgudc> (2 de octubre de 2019).
- Congreso de la Unión (2009), Acuerdo por el que se establece la estratificación de las micro, pequeñas y medianas empresas, disponible en <https://cutt.ly/9mKgkY6> (19 de septiembre de 2019).
- Congreso de la Unión (2013), Diario Oficial de la Federación 20/12/2013, disponible en <https://cutt.ly/XmKgxAh> (30 de septiembre de 2019).

- Congreso de la Unión (2014), Ley de la Industria Eléctrica”, disponible en <https://cutt.ly/ZmKgme0> (19 de septiembre de 2019).
- Congreso de la Unión (2016), Acuerdo por el que se emite el Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 0.5 MW, disponible en <https://cutt.ly/imKgTNf> (1 de octubre de 2019).
- Congreso de la Unión (2016), Ley de Impuesto sobre la Renta, disponible en <https://cutt.ly/VmKgSEI> (1 de octubre de 2019).
- Congreso de la Unión (2018), Acuerdo por el que se emite el Manual para la Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga, disponible en <https://cutt.ly/kmKgHc2> (25 de septiembre de 2019).
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit de México (2018), El auge del sector solar en México, disponible en <https://cutt.ly/hmKgZ6N> (7 de mayo de 2019).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018), Información general sobre Economía y Sectores Económicos, disponible en <https://cutt.ly/kmKg1G8> (1 de noviembre de 2019).
- International Renewable Energy Agency (2017), Average irradiation levels, disponible en <https://cutt.ly/2mKg8iM> (6 de mayo de 2019).
- International Energy Agency (2016), México energy outlook 2016, disponible en <https://cutt.ly/KmKg6cR> (15 de septiembre de 2019).
- Inventario Nacional de Energías Limpias (2019), Mapa de la República Mexicana (zonas por nivel de irradiación), disponible en <https://cutt.ly/amKhrXt> (1 de mayo de 2019).
- Pelayo, J.; Luna, A.; Bernabe, F. y Guzman B. (2017), Comparativa entre la eficiencia de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y la de un sistema fotovoltaico fijo, *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biologicas y Agropecuarias*, disponible en <https://cutt.ly/rmKhoSm> (1 de octubre de 2019).
- Secretaría de Energía (2008), Programas de eficiencia energética en México, disponible en <https://cutt.ly/SmKhhe7> (31 de octubre de 2019).
- Secretaría de Energía (2016), Prospectiva del sector eléctrico (PRODESEN) 2017-2031, disponible en <https://cutt.ly/bmKhUOr> (29 de septiembre de 2019).
- Secretaría de Energía (2017), Primer análisis sobre los beneficios de la Generación Limpia Distribuida y la Eficiencia Energética en México, disponible en <https://>

cutt.ly/RmKhvoy (27 de septiembre de 2019).

Secretaría de Energía (2017), Prospectiva de Energías Renovables 2017-2031, disponible en <https://cutt.ly/JmKhQz5> (28 de septiembre de 2019).

Secretaría de Energía (2018), Centrales eléctricas de generación distribuida, disponible en <https://cutt.ly/EmKhGQD> (1 de octubre de 2019).

Secretaría de Energía (2018). Usuarios de energía por tarifa, disponible en <https://cutt.ly/CmKhZlG> (1 de octubre de 2019).

Zweifel, R.; Praktijnjo, A. y Erdmann, G. (2017), *Energy economics: Theory and applications*, Springer, Alemania.

CAPÍTULO 13

“Sabemos construir presas, pero no tenemos sensibilidad para tratar con personas”: administración pública, política y energía eléctrica en Chicoasén

Martin J. Larsson

La política energética ha sido central para el Estado mexicano por décadas, y la última administración no ha sido una excepción. Durante el presente sexenio, las discusiones públicas sobre el tema han girado en torno a las energías renovables y no-renovables, y a las ventajas y desventajas de la producción privada y pública de la energía. Por la especificidad de estas discusiones sobre la política energética podría parecer obvio cómo delimitar el tema, y pareciera que la implementación de las políticas públicas no fuera de la misma importancia que los ideales directrices de éstas. Sin embargo, cuando nos acercamos a “la política energética” como un término etnográfico, como es el caso

de este capítulo, podemos ver que esta especificidad obstruye un entendimiento de la política como tal, y su relación con la energía eléctrica. Lo que se pierde de vista con ello es el lugar que ocupa la política energética en la práctica. La consecuencia de esta ceguera es muy grave: por más coherentes que puedan ser las diversas políticas públicas, esa coherencia encuentra dificultades severas por traducirse en relaciones concretas. Lo que se sugiere en este capítulo, entonces, es que las discusiones sobre política energética necesariamente tienen que involucrar discusiones sobre la implementación de los proyectos que tienen por finalidad concretizar esas políticas (cf. [Larsson, 2018](#)). Entender la implementación no sólo se trata de mejorar las “habilidades blandas”, los *soft skills* —las habilidades comunicativas— como suele ser enfatizado en la literatura sobre *management* y administración pública, así como entre los actores en el lugar de estudio. También se tiene que contar de “habilidades duras”, *hard skills* en las áreas sociales.

En este capítulo buscaré aportar a ese conocimiento técnico en las áreas sociales a través del significado de la política y su relación con la energía eléctrica en Chicoasén, en Chiapas, un municipio donde se encuentra una de las represas hidroeléctricas más grandes del continente, construida durante la segunda mitad de los años 70, y donde se inició el trabajo con una segunda presa a principios del 2015. Se espera que la discusión pueda servir para proyectos similares en otras partes del país, a la vez que la discusión conceptual sea un aporte al conocimiento académico sobre organización social.

Empezaré este capítulo con una descripción general del lugar de las presas hidroeléctricas en Chicoasén, para luego pasar a una entrevista realizada a uno de los directores de la nueva presa, donde explícitamente expresa su ignorancia en torno a temas sociales. Pasaré a una

descripción de las discusiones centrales que ocurrían en el municipio en aquel entonces, y que le hubiera ayudado al director a entender cómo los habitantes percibían a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), y la relación entre los actores involucrados en las negociaciones sobre la nueva presa. Destaco las nociones conflictivas que existían en torno al término “pueblo”, la percepción local de “la política”, y su relación con cuestiones éticas. Para concluir, resalto la importancia de *hard skills* en áreas sociales, y cómo puede ayudar a formar *soft skills*, retomando los puntos centrales de la discusión conceptual de este capítulo, y los aportes que hace en ese sentido.

La política energética desde Chicoasén

Quienes han pasado por las instituciones de educación básica en México deben saber que, en cuanto a política energética, el petróleo es la reina del baile (Morales, 2018). Si alguien había dudado de la centralidad del petróleo, después de los cambios que se hicieron para mover el país hacia energías renovables —como la Ley de Transición Energética, y la firma del Acuerdo de París— esa duda se disipó con la postura del actual presidente, claramente a favor de los hidrocarburos. Ni la pandemia del 2020 cambió la direccionalidad del gobierno, como habían esperado algunos (Ramírez, 2020; Chanona, 2020). Más bien, el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) utilizó la pandemia como un argumento para frenar las pruebas de nuevas centrales eólicas y fotovoltaicas (CENACE, 2020: Anexo único, punto 5). De una manera parecida, el partido encabezado por el presidente de la República, Morena, aprovechó unos apagones en Texas durante la primavera de 2021, que también afectaron el suministro de energía en México, para avan-

zar su agenda hacia adelante, una agenda que conecta la producción energética estatal a un ideal de soberanía nacional, donde la explotación de hidrocarburos juega un papel simbólico central.

Visto desde el horizonte chiapaneco, sin embargo, tanto los hidrocarburos como la producción energética privada juega un papel marginal; es la energía hidroeléctrica la que ocupa el lugar principal del universo energético. En Chicoasén, donde se realizó el trabajo de campo para este capítulo, eso se nota desde la entrada al municipio, donde se encuentra una enorme estatua del ingeniero a cargo de la CFE cuando se construyó la primera presa, acompañado por tres trabajadores. Por décadas, la CFE se ha encargado de promocionar su imagen como “empresa mundial”, y de posicionar las presas como un orgullo nacional. A la fecha, circulan videos entre los habitantes de Chicoasén, producidos por la paraestatal, en donde se representa la construcción de la primera presa como un acto heroico.¹

De hecho, observando la política energética desde Chicoasén, se necesita hacer un esfuerzo para pensar que existe otra cosa que la energía hidroeléctrica. Desde su construcción, la primera presa se ha convertido en parte del paisaje, y se ha incorporado a la vida de quienes viven dentro y fuera del río. Por ejemplo, los pescadores han adaptado sus horarios de trabajo al cierre y apertura de la presa, ya que el cierre hace que sea más fácil observar los peces en el fondo del río. La presencia de la represa se hace notar también en la cabecera de Chicoasén, donde muchas casas fueron construidas con los sueldos obtenidos en las labores de construcción de la primera presa (casas que a su vez

¹ Véase, por ejemplo, *Los hombres de Chicoasén*, disponible en <https://cutt.ly/6ms6LDT> (accedido el 9 de junio 2020).

fueron importantes para que algunos matrimonios se concretaran, ya que se suponía que los hombres tenían que proporcionar una casa para ser considerados como novios adecuados). También se pueden encontrar rastros de la presa en detalles en Chicoasén, como camisas viejas de la (CFE) colgando de un clavo en la pared, como si sólo estuvieran esperando una nueva excusa para ser utilizadas.

A primera vista podría parecer que la presa era inseparable de Chicoasén, pero cuando se iniciaron los preparativos para construir una segunda presa, surgieron viejas historias de injusticia, preocupaciones, pero también de viejas esperanzas de un futuro mejor. De los conflictos que surgieron en relación a estas historias, se volvió también visible la importancia de pensar en la política energética más allá de las discusiones sobre políticas públicas en la esfera pública. Para llevar a cabo una política pública, también resulta fundamental tener conocimientos básicos sobre la percepción local del mismo concepto de “política”.

Soft skills y hard skills en la administración pública

Si, como he descrito arriba, la conexión entre los habitantes de Chicoasén, la CFE y la represa hidroeléctrica pareciera muy íntima y cotidiana, para los representantes de la CFE, a cargo de la nueva presa, esta conexión era todo menos evidente. Lo que veían era más bien cómo los conflictos entre ellos y los habitantes se iban multiplicando exponencialmente. Cuando tuve la oportunidad de hablar con uno de los directores de la nueva presa, apenas me había recibido cuando empezó a comentar de todos los retos que estaban enfrentando. “Entre tú y yo”, me dijo, como si lo que estaba a punto de decir no fuera ampliamente conocido en la zona, “tenemos problemas con los pescadores que dicen

que hemos afectado su actividad, ya que supuestamente hemos espantado a los peces con el ruido que estamos haciendo. Luego tenemos los problemas con las personas en el área que será inundada”. Desde la perspectiva del director, lo peor de la situación era que la gente de la zona era muy violenta; por eso me advirtió que, si pensaba trabajar con los lugareños, más valía que tuviera cuidado. Extendiendo los brazos en un gesto de desesperación, empezó a quejarse de las expectativas exageradas que la gente de la zona tenía sobre el proyecto. Comenzó a mover sus manos hacia adelante y atrás, y con tono enfático exclamó: “la gente piensa que la CFE tiene algún tipo de manguera con dinero, y todos quieren que la activemos para ellos”. Como si de repente se diera cuenta de que los problemas que acababa de señalar probablemente no eran responsabilidad exclusiva de los habitantes de la zona, finalizó la oración diciendo que: “sabemos cómo construir presas, pero no tenemos la sensibilidad para tratar con personas”.

En esta separación que hacía el director entre el conocimiento técnico para construir presas, y la supuesta sensibilidad requerida para tratar con personas, resulta difícil no escuchar el eco de la distinción entre *soft skills* y *hard skills*, que se ha vuelto popular en *management studies* durante los últimos años (véase, por ejemplo, [Orwig, 2020: 223](#)). Los *hard skills* corresponden a conocimientos técnicos, donde la frontera entre lo correcto y lo incorrecto es bastante clara, una frontera que sigue la distinción entre verdadero y falso que busca establecer la ciencia a través del método científico. Para adquirir este tipo de conocimientos, se supone que se necesita cierto coeficiente intelectual. Los *soft skills*, en cambio, tienen que ver con la habilidad de comunicarse y de saber tratar a la gente: son cosas que se tendría que aprender con la práctica o que tendrían que ver con la personalidad de cada uno.

Es un conocimiento práctico, que, por la dificultad de expresarse en términos normativos, y por su inclinación por pensar en términos de lo adecuado y lo no adecuado en vez de distinguir lo verdadero de lo falso, se percibe como algo bastante misterioso. En un intento por capturar este campo misterioso, la literatura sobre *soft skills* ha desarrollado un aparato conceptual sobre las diferentes habilidades que resultan más difíciles de medir que los *hard skills*, incluyendo por ejemplo la empatía, la motivación, y el conocimiento de uno mismo (para una revisión de la literatura sobre *soft skills* y *hard skills* ([Charoensap-Kelly et al., 2016: 155-56](#))).

Algo que suele desaparecer en esta discusión, y que se volvió problemático en el caso concreto de la construcción de la segunda hidroeléctrica en Chicoasén, es que se reduce el conocimiento sobre relaciones sociales a habilidades comunicativas, de la misma manera que lo expresó el director del proyecto. En este capítulo quiero sugerir que la implementación de políticas públicas no se trata de algo tan sencillo como simplemente mejorar los *soft skills*, el saber “cómo tratar a la gente”. El conocimiento técnico tiene que extenderse a cómo se llevan a cabo y cómo se imaginan las relaciones sociales en los lugares donde se pretenden implementar las políticas públicas. En otras palabras, el conocimiento técnico sobre la construcción de una presa necesariamente tiene que acompañarse de un conocimiento técnico sobre las relaciones sociales, sin las cuales cualquier proceso organizativo se vuelve imposible. Entender que los *hard skills* también se extienden al entendimiento de las relaciones sociales es fundamental para deshacerse de una dicotomía problemática que suele acompañar a la distinción entre *hard skills* y *soft skills*, y que se entrevé en la entrevista con el director: la distinción entre razón y sentimiento.

“El pueblo” y el individuo

No tuve que pasar mucho tiempo en Chicoasén para entender que “lo racional” puede ser algo sumamente relativo. Si el director ubicaba a los habitantes de Chicoasén en una esfera irracional, los pobladores hicieron algo muy parecido con la CFE. Desde su perspectiva, el arreglo entre la CFE y “el pueblo” no parecía tener ni pies ni cabeza. Por ejemplo, una de las demandas de los pobladores era que la CFE bajara las tarifas para los habitantes del municipio, lo cual les parecía una demanda razonable. Los representantes de la CFE sin embargo argumentaron que no podían tomar una decisión de esa naturaleza: eso correspondería al Senado. Algo similar sucedió con un grupo de ancianos que habían trabajado en la construcción de la primera presa, pero que no estaban recibiendo una pensión que pudiera cubrir sus necesidades, y que decidieron que ese era el momento idóneo para exigir y renegociar sus derechos laborales de antaño. Desde una perspectiva legal, que era la que expresaban constantemente los representantes de la CFE, esta exigencia no tenía ningún fundamento. Para el grupo de Chicoasén, en cambio, lo que pedían era sencillamente algo que les correspondía como parte de la deuda que tenía la CFE con el pueblo de Chicoasén.²

Para entender la perspectiva expresada tanto por los habitantes, pero también por parte de la CFE, es insuficiente mejorar las capaci-

² Aquí vale la pena señalar los contrastes económicos en el municipio, donde la CFE se ha vuelto un símbolo de riqueza, mientras la población sigue viviendo en pobreza. Según los indicadores del Comité Estatal de Información Estadística y Geografía de Chiapas (CEIEG), del 2018, el porcentaje que vive en situación de pobreza multidimensional en el municipio asciende al 78.2%; véase <https://cutt.ly/wmdqxfQ>, consultado el 9 de junio 2020.

dades comunicativas. También necesitamos un conocimiento técnico sobre las relaciones sociales. En el caso concreto resulta central esbozar primero el significado del término de “pueblo”, que ambos grupos utilizaban constantemente.

Como [Eiss \(2010\)](#) ha señalado, este término es bastante complicado, dado que tiene varios significados. Fue traído por primera vez a América por conquistadores y sacerdotes que lo usaron para referirse a asentamientos rurales y sus habitantes; en la península ibérica, este significado se había establecido al menos desde el siglo XII. A través del tiempo, el término ha adquirido una connotación de soberanía popular que se remonta a la descolonización americana en el siglo XVIII y principios del XIX (significado que se filtró a la constitución mexicana). Finalmente, el término se utilizará para hacer referencia a diferentes grupos étnicos y, desde las lecturas influenciadas por el marxismo, para aludir a las relaciones entre el pueblo trabajador y la élite capitalista. Esta lista se puede hacer más específica. Por ejemplo, en México también existe una distinción en la ruralidad, entre el “pueblo” ejidatario y la élite finquera, una distinción inspirada en lecturas marxistas ([Eiss, 2010: 2-4](#)).

Lo que une a estas diferentes nociones de “pueblo” no es sólo la categoría como tal, sino también su posición en una serie de dicotomías similares. Por ejemplo, en un estudio de un barrio en la Ciudad de México, Larissa [Adler \(2003 \[1975\]\)](#) ha argumentado que la dependencia del parentesco es algo particularmente importante en la clase obrera. Quienes tienen recursos suficientes tienden a moverse físicamente de ese tipo de relaciones, para formar otras alianzas donde el parentesco juega un papel más marginal. Esta distinción entre clases se conecta a una oposición muchas veces enfatizada por representantes

de la iglesia católica, donde el individuo (considerado como egoísta) se opone a “la familia”.

En la ruralidad mexicana, como ya se ha señalado, una diferencia parecida se expresa en la tensión entre la finca y el ejido. La finca se ha tomado como un símbolo de grandes propiedades privadas, mientras el ejido ha llegado a representar un proyecto comunal; idealmente, el ejido incluye una forma común de tenencia de la tierra, manejado a través de asambleas, donde la igualdad y la solidaridad serían valores centrales (para este tipo de representaciones idealizadas, véase por ejemplo [Wilson, 2009](#)). El ejido, en breve, al igual que la clase obrera y los feligreses de la iglesia católica, han llegado a corresponder al término de pueblo. La finca, la clase alta y el Estado, en cambio, se ha convertido en su Otro: el individuo egoísta.

El pueblo íntimo y el pueblo-población

Si las diferentes nociones de “pueblo”, propuestas por Eiss, nos dejan ubicar diferentes significados y conexiones entre posiciones que forman parte de dicotomías —significados y dicotomías que también aparecen en Chicoasén—, lo que nos enseñan los conflictos en el municipio es la existencia de un conflicto por definir en el pueblo. Es decir, aquí la disputa no se encuentra en primer lugar entre el pueblo y su Otro, ni entre diferentes pueblos, sino entre diferentes nociones del mismo pueblo. Con ello enfatizo dos dimensiones que ocupan un lugar más marginal en el trabajo de Eiss: la manera de hacer surgir al pueblo como concepto, y las expectativas éticas del pueblo. Lo que quiero proponer en ese sentido es una distinción entre lo que llamo el “pueblo

íntimo” y el “pueblo-población”, distinción que se inspira en el trabajo de Foucault (2004) sobre el nacimiento de la población en Francia, que resultó de la emergencia del Estado liberal moderno. Foucault argumentó que las nuevas ideas liberales —que se basaban en el “principio egoísta” (Wootton, 2018: cap. 1, parr. 3)— implicaron que la gente tiene que aprender qué desear para actuar de una manera “racional” desde una perspectiva de teoría económica clásica. Se basa en la idea de que lo elemental para los seres humanos es la propia persona y sus intereses y deseos, que constantemente se buscan satisfacer. Esta noción parte de métodos estadísticos para medir el número de personas que vive en un lugar determinado.

En las negociaciones en Chicoasén, esta noción era particularmente visible en el Plan de Desarrollo Integral para la cabecera de Chicoasén, formulado por trabajadores de la CFE. Para llegar a esta noción, empezaron delineando su “objeto”, dibujando los límites de “la comunidad” o “el pueblo” de Chicoasén. Lo hicieron empleando ciertos aspectos fundamentales para crear “comunidades imaginadas” (Anderson, 2006 [1983]), concretamente mediante el uso de mapas, censos e historias que conectaban a las personas con un terreno en particular. De esta manera, el pueblo de Chicoasén se distinguía de las fincas y sus propietarios que habían existido en el municipio antes de la reforma agraria, retomando así la idea general de una oposición entre el pueblo y los finqueros discutida por Eiss. El pueblo de Chicoasén que surgió a través de esta operación fue presentado como una unidad con la cual la CFE se había relacionado a través de su trabajo cercano con el gobierno municipal, y a través de grupos en diferentes localidades que la misma CFE había formado para llevar a cabo talleres participativos. Según el Plan de Desarrollo Integral, estos talleres constituían el espacio donde

ese mismo plan tomó su forma y validación, y en donde “el pueblo” se constituyó como sujeto de su propio desarrollo.

Esta manera de presentar a la población de Chicoasén como sujeto era central para el plan. Hacía referencia a una discusión de larga data sobre las posibilidades de incluir a los “objetos” del desarrollo en la planificación y ejecución de proyectos, a través de métodos participativos. El plan fue inspirado sobre todo por el trabajo de [Contreras \(2002\)](#), quien discutió cómo la investigación Acción Participativa podría “revertir la dicotomía sujeto-objeto” ([Contreras, 2002: 12](#); [CFE, s.f., p. 8](#)). Sería a través de los talleres que los beneficiarios se convertirían en los principales actores de los proyectos de desarrollo. Para que esta conversión pudiera tomar lugar, los autores argumentaron que:

se requiere de un esfuerzo interdisciplinario de acompañamiento permanente que impulse y cree capacidades locales organizativas y de participación. Este reforzamiento de capacidades permitiría aumentar la capacidad de autogestión para conseguir apoyos de capacitación, asesoría técnica, participación de programas y proyectos adecuados al desarrollo de su entorno y vinculados a su realidad que minimicen los procesos que generan dependencia ([CFE, s.f.: 56](#)).

En otras palabras, se suponía que la intervención de la CFE apoyaría un proceso de capacitación que daría como resultado que los integrantes de los grupos formados por la CFE pudieran solicitar proyectos gubernamentales por sí mismos, y no esperar a que las instituciones gubernamentales actuaran. Lo destacable de esta propuesta en la discusión sobre el pueblo, es cómo también implicaba un entrenamiento

de lo que se debía desear. Lo que se subrayaba en el Plan de Desarrollo Integral era cómo pedir apoyos, pero para eso, había primero que saber el tipo de apoyos que se podían solicitar. Eso, por ende, era lo que se tenía que desear. De hecho, en un momento, una de las encargadas de los proyectos de desarrollo social de la CFE lo expresó precisamente de esa manera, en una discusión sobre la mala calidad de la pintura en una escuela que habían hecho los “beneficiarios”, con pintura donada por la CFE. Cuando el líder local le dijo que podían volver a hacerlo si era lo que quería la CFE, le contestó que “ustedes deben querer esto”, haciendo referencia a algo que estaba plasmado en un protocolo de un taller que tenían en la localidad.

Estas ideas contrastaban claramente con la idea del “pueblo íntimo”, que es mucho más común escuchar de las personas de Chicoasén (una idea que el conocido Foucault no explora en el texto al cual he hecho referencia arriba, en su discusión sobre el pueblo y la población). ¿En qué consiste este pueblo íntimo, y de qué manera se diferencia del pueblo-población? La mejor explicación fue la que dio uno de los líderes del movimiento en Chicoasén en una discusión acalorada con la misma representante de la CFE que estaba envuelta en la disputa por la pintura. La representante de la CFE estaba cuestionando la legitimidad del movimiento, porque no tenían muchos miembros formales. Según ella, los líderes sólo se basaban en opiniones personales: no sabían realmente lo que pensaba “el pueblo”. La CFE, en contraste, supuestamente contaba con conocimientos sólidos por haber llevado a cabo una serie de talleres con diferentes grupos del municipio. “¿No conozco a mi pueblo?”, exclamó el líder en respuesta a lo que decía la representante de la CFE. “¡Si yo conozco hasta la cocina de todos los que vivimos aquí!”.

La diferencia principal entre el pueblo-población y el “pueblo íntimo” es que este último no se puede captar a través de talleres y estadísticas que buscan representar un momento dado. Más bien es un conjunto de relaciones que se han ido formando por años, que hacen que cada persona del pueblo pueda ofrecer una interpretación de lo que dice y hace otra persona del lugar en una situación específica, ligando sus palabras y actos a sus relaciones, a lo que ha hecho antes, y a sus ideales y proyecciones hacia el futuro. Desde luego, este tipo de conocimientos pueden ser equivocados y no todas las interpretaciones tienen necesariamente la misma calidad; de hecho, lo mismo podemos decir de representaciones estadísticas, como las que produjo la CFE. Sin embargo, lo significativo aquí no es tanto la precisión del conocimiento o de las predicciones en sí, sino la posibilidad de interpretar lo que dice o hace alguien en un contexto más amplio, con una profundidad histórica que difícilmente aparece en un censo o un taller. Lo que define al “pueblo íntimo” es en resumen que la base del conocimiento son las relaciones cotidianas, que se desarrollan en espacios íntimos, por lo que *no* necesitan talleres o mediciones para tener una buena opinión acerca de lo que piensan y hacen los demás.

A diferencia de lo que pensaba el director de la CFE, esto no significa que el conocimiento que se crea en la intimidad requiera de una mayor “sensibilidad” que el conocimiento desde el concepto del pueblo-población. La diferencia es ante todo metodológica: reside en la cantidad de material con la que se cuenta para formular una idea, y las formas de representar ese material. Lo que aparentemente puede parecer místico de ese tipo de conocimientos es que resulta difícil expresarlo a través del lenguaje, usado justamente para producir un pueblo-población (es decir, encuestas, estadísticas, y proyectos).

Sin embargo, el pueblo íntimo no sólo genera representaciones del “pueblo”: también construye entendimientos de un Otro que resulta igual de irracional que el “pueblo”, producido desde la perspectiva del pueblo-población, y con problemas parecidos en cuanto al entendimiento de los razonamientos detrás de las conductas de ese Otro, que muestra el modelo que separa el conocimiento técnico de la sabiduría práctica. En esas representaciones del Otro, aparece una dimensión ética que también resulta importante entender para dibujar una imagen más precisa de cómo se creaban y cómo se imaginaban las relaciones sociales en Chicoasén.

“Todo es política”

Pocos lugares en Chicoasén expresaban la distinción entre la CFE y el pueblo de Chicoasén de una manera tan física como la malla que había construido la paraestatal afuera de sus nuevas oficinas. Varios grupos de Chicoasén (y de otros lugares) se juntaron afuera de esta malla para ser recibidos por las personas encargadas de las contrataciones.

En este espacio pasé varios días, esperando también que me atendieran para la entrevista con el director, a la cual he hecho referencia arriba. Aproveché ese tiempo para hablar con otros que estaban esperando en la sombra de árboles que había en ambos lados de la carretera. La mayoría de las personas con las que hablé tenían la esperanza de trabajar como ayudantes: trabajadores que la CFE (o, siendo más preciso, las empresas contratadas por la CFE como Omega Construcciones Industriales, Sinohydro Costa Rica, Caabsa Infraestructura y Desarrollo y Construcciones Urbanas [[Transparencia, 2005: 12-13](#)]) utilizaba para una diversidad de tareas sin la necesidad de un entre-

namiento previo. Pero había también quienes esperaban encontrar un trabajo más calificado. Uno de ellos fue Joaquín, quien había estudiado ingeniería en Tuxtla Gutiérrez (la capital del estado, a unos 40 minutos en transporte público de la cabecera de Chicoasén), y veía en esta ocasión una buena posibilidad para trabajar en su lugar de origen. Pero después de varios días afuera de la malla, se empezó a desesperar. Veía que contrataban a gente, pero todos los mejores puestos iban a personas del centro de país: parecía no haber lugar para un ingeniero de Chicoasén. Cuando por fin lo atendieron, la persona a cargo de las contrataciones le decía que le faltaba experiencia en la construcción de presas. Joaquín insistía que podía aprender, y que la CFE en realidad tenía la obligación de enseñarle lo que le faltaba saber, pero no tuvo ninguna respuesta favorable a esa idea. Desde la óptica de Joaquín, la razón por la cual no lo hacían era porque “todo es política”.

En un principio pensé que el uso que hizo Joaquín del término “política” se podría traducir como “corrupción...”, en ese caso su crítica sería que la CFE no respetaba el ideal de meritocracia, al no contratar a quien tuviera la mejor preparación. Esta interpretación en realidad suponía que Joaquín partía de principios liberales, en primer lugar del principio de igualdad ante las leyes, lo cual, a su vez, se podría ligar a la idea del bien común como el fin del gobierno. Sin embargo, su énfasis en que las personas de Chicoasén deberían tener una preferencia en la contratación me hizo dudar de esta primera interpretación. Cuando supe la razón que le dieron por no contratarlo, que justamente se basaba en el ideal de la meritocracia, entendí que tenía que estar hablando de otra cosa. Si bien la traducción a “corrupción” parecía tener cierto sentido, lo que se corrompía no podían ser principios liberales. ¿Qué era entonces lo que se estaba corrompiendo?

Durante mi trabajo de campo en la zona —no sólo en Chicoasén— me topé con el término “política” en varias situaciones, lo que me permitió tener una mejor noción de su significado, y entender mejor el tipo de corrupción a la cual hacía referencia Joaquín. Por ejemplo, cuando trabajé con una de las compañías que ofrecían un tour en el Río Grijalva (donde se encuentra la presa de Chicoasén, y los ciimientos de la segunda presa), los lancheros se quejaron de un nuevo jefe porque era un “político” que había estado trabajando en la presidencia municipal. Cuando, según los lancheros, el nuevo jefe intentó despedir a uno de los lancheros sin una razón legítima, y usó mentiras y alianzas sucias con las autoridades en el río para no pagar la liquidación, me dijeron que estaba tratando de “aplicar la política”. “Todo es política” fue también la razón que me dieron los lancheros para explicar por qué el problema de la basura en el río nunca se resolvía; a lo que se referían en ese caso era a los robos de recursos públicos que habían acompañado esos intentos. Otro ejemplo que vale la pena mencionar es el de un grupo de líderes de una organización con la que trabajaba en el municipio de Mezcalapa, quienes intentaron convencer a sus seguidores que no eran como los partidos políticos, aunque uno de ellos tenía un puesto en el gobierno municipal. Sugirieron que, como los miembros de la organización, él también era pobre y no era un licenciado.³

Como podemos ver con estos ejemplos, “la política” en esta zona puede referirse a la política institucional —como en el caso del jefe

³ El término “licenciado” en este contexto hace referencia a un abogado, si bien podría también aplicar a cualquier persona con un título universitario; lo importante aquí es que funcionaba como símbolo de “la élite”.

de la compañía de los lancheros— pero el término implica una caracterización que va más allá de las instituciones. Nos acercamos más a esa caracterización cuando analizamos la expresión de que alguien quiere “aplicar la política” que, en el contexto específico, hacía referencia a una conducta reprochable, que implicaba mentiras y engaños. Regresando al uso del término que hacía Joaquín, el ingeniero afuera de las oficinas de la CFE, lo que se corrompía no eran ideales liberales, algo que por lo menos hubiera dejado un espacio para la posibilidad de una coherencia racional detrás de la decisión de no contratarlo. Si vemos el razonamiento de Joaquín a la luz del entendimiento local de “la política”, lo que se había corrompido eran ciertas normas morales, como las de no mentir y no engañar, así como la norma que establece los términos justos de una relación recíproca entre “pueblos”. En otras palabras, lo que criticó era la corrupción de normas morales ligadas a la noción de pueblo-íntimo.

Ética y política

Si bien podríamos ver la relación entre las perspectivas desde el pueblo íntimo y el pueblo-población como algo que se construye sobre un malentendido mutuo, y que descalificaba a la perspectiva opuesta como irracional o corrupto, este malentendido agrega algo bastante interesante a las discusiones contemporáneas sobre política, y por ende a la política energética. Con ello, incrementa también la posibilidad de usar este análisis para entender otras situaciones, en otros lugares.

En las ciencias sociales, el abordaje más común a la crítica a “la política” formulada en esta parte del Río Grijalva, probablemente sería pensando como una expresión política. Esta interpretación se

podría apoyar en la conceptualización de la política formulada por autores como Slater (1998), quien siguiendo el trabajo de Mouffe (1995) y Lefort (1988) propuso una definición donde el término se entendía como “el ensamblaje de prácticas, discursos e instituciones que buscan establecer un orden particular y de organizar la vida” (Slater, 1998: 386). A esto le agregó un espacio para “lo político”, que correspondería a “la dimensión antagónica que se encuentra inherente en toda sociedad humana” (*ibid.*; traducción del autor). Desde esta perspectiva, el intento de ordenar las cosas de acuerdo a las ideas del pueblo íntimo difícilmente podría escapar del concepto de política. Sin embargo, siguiendo a Matea (2011), quiero sugerir que, procediendo de esta manera, no tomamos en serio la perspectiva local, con lo que nos arriesgamos a perder una posibilidad de repensar conceptos académicos. Con ello también nos arriesgamos a perder de vista perspectivas que nos puedan arrojar una lectura distinta de lo que analizamos.

De hecho, desde una perspectiva histórica, la omnipresencia contemporánea de la política (y “lo político”) es una novedad. Como recuerda Götz (2015: 148), la definición clásica (es decir, aristotélica) de “la política” se refería al manejo del Estado, lo cual se distinguía de la “economía” del hogar. Lo que unía a estas dos esferas era la ética, y el deseo de facilitar una vida virtuosa (*eudaimonia*). En el siglo XVIII empiezan a cambiar los significados, y la relación entre, ética, política y economía. Es en esos años que la economía deja la esfera del hogar para ligarse a los Estados y sus búsquedas de crecimiento de sus riquezas, y a la idea de un sistema comercial global. Al mismo tiempo, la ética de las virtudes, que constituía la perspectiva predominante hasta ese entonces, por lo menos en el continente europeo, se ve desplazada por un consecuencialismo que aumentaría el “bien común”. Con ello, tam-

bién la política empieza a cambiar de significado, al ligarse justamente con el bien común como una finalidad básica del gobierno, en vez de dirigirse hacia la buena vida (o la vida virtuosa) de los ciudadanos, como lo tenía la teoría clásica ([Wootton, 2018](#)).

Si el consecuencialismo se ajustaba bien al Estado moderno, era menos útil en la esfera que anteriormente correspondía a “la economía”, es decir, a la familia. Como han señalado [Davidoff y Hall \(1987\)](#), en el siglo XVIII, la familia empezó a pensarse en términos de una “esfera privada”, que constituía “el ámbito de la moralidad y de las emociones” ([Davidoff y Hall, 1987: 13](#), mi traducción). Esta esfera contrastaba con la esfera pública, que sería “aquella de la actividad racional” (*ibid.*, mi traducción). Una dificultad de esta división es que los asuntos “personales” difícilmente se podían entender como algo político, como también ha señalado [Carol Hanish \(1970\)](#). Sin embargo, al considerar la posibilidad de resolver problemas “personales” a través de medidas “políticas” (tales como la creación de las condiciones para que las mujeres no quedaran a cargo del cuidado infantil), el espacio para una esfera particular autónoma de la política parecía desmoronarse.

Aun así, los habitantes de Chicoasén insistían en distinguir “la política” de otras actividades. ¿Cómo lo hicieron? Como hemos visto, “la política” hace referencia a una conducta egoísta, que no toma en cuenta al “pueblo”, y que muchas veces incluye mentiras y engaños. Como he señalado arriba, aquí, lo que se expresaba era un asunto que tiene más que ver con una perspectiva ética que con una crítica a una corriente política; en otras palabras, no criticaban los fundamentos de una teoría política, sino los puntos moralmente cuestionables de los representantes de la CFE. Esta diferencia es significativa, y algo que perderíamos de vista al aceptar conceptualizaciones como la de Slater.

De hecho, esta distinción entre política y moral es también algo que ha ocupado un lugar importante en discusiones académicas sobre la llamada “economía moral”, que supuestamente sería opuesta a la economía política (véase sobre todo [Thompson, 1971](#) y [Scott, 1977](#), pero también [Wolf, 1957](#); [Popkin, 1980](#); y [Götz, 2015](#)). Un problema de esta perspectiva, como ha señalado [Götz \(2015\)](#), es que también la economía política (liberal) se basa en ideales éticos, que buscan maximizar el bien común. Lo que Götz no logra conceptualizar, pero que se vuelve más evidente al analizar las negociaciones sobre la nueva presa en Chicoasén, son las particularidades de diferentes perspectivas éticas. En Chicoasén, la manera de criticar a “la política” tiene demasiadas similitudes con la crítica al consecuencialismo como para no tomarse en cuenta. Esto incluye su énfasis en el egoísmo; su rechazo de las representaciones estadísticas de la CFE; y la importancia de velar por “el pueblo” y no por el individuo. Considerando la historia conceptual de “la política”, tampoco resulta extraño que el término se conecte con el consecuencialismo: la política moderna efectivamente se liga íntimamente con esta corriente ética (véase [Wootton, 2018](#)). Desde esta perspectiva, lo opuesto de “la política” no es “la moral”, sino algo que tiene más que ver con otras perspectivas éticas, como algo que se asemejaría más a la deontología o a la ética de las virtudes.

Si podemos ver cómo “la política”, desde la perspectiva del pueblo íntimo, se conecta con una versión del consecuencialismo, vale la pena subrayar que esta crítica no implica que el consecuencialismo sea una manera de razonar que sea desconocida en Chicoasén. En realidad, hay momentos en que se espera una conducta “egoísta” y consecuencialista también entre los habitantes del municipio, como es el caso de las muestras de una masculinidad autónoma ([Larsson, 2018](#):

187–207). “La política” tampoco es algo desconocido entre los chi-cuasenecos. Durante las negociaciones con la CFE, constantemente expresaban una preocupación por la posibilidad de que sus líderes se volvieran “políticos”: que dejaran de preocuparse por “el pueblo”, para beneficiarse personalmente.

Por otro lado, la ética que se defendía en Chicoasén tampoco estaba exenta de problemas; este es otro punto que tiende a desaparecer en la literatura sobre la economía moral. Basar los derechos en la pertenencia a un pueblo implica una exclusión de otros “pueblos”. Como he señalado, los habitantes de Chicoasén se molestaban mucho cuando la CFE contrataba a personas de otros lados, incluso personas de municipios vecinos, lo que llevaba a enfrentamientos violentos entre personas de Chicoasén y de otros municipios. El caso más destacable en este sentido fue el enfrentamiento entre habitantes de Chicoasén y del vecino municipio de Copainalá, quienes reclamaban sus derechos a ser contratados por vivir dentro de la zona afectada de manera indirecta por la presa.

Al mismo tiempo, debemos tomar en cuenta que la noción de “pueblo” tenía menos importancia en las relaciones entre los mismos habitantes del municipio, que cuando se trataba de relacionarse con la CFE, otro hecho que cuestiona la separación clara entre “el pueblo” y la CFE. En realidad, Chicoasén no solía organizarse como un solo pueblo, sino a través de diferentes líderes. Si el movimiento que buscaba una renegociación de la nueva presa había logrado ir más allá de esos liderazgos, no correspondía a ninguna normalidad en el municipio. Más bien, el movimiento constituía un esfuerzo considerable por mantener esa representatividad ante la CFE, lo cual no era fácil por los diferentes intereses y perspectivas que se encontraban al interior del grupo.

Sin embargo, un problema de este esfuerzo fue que no todos los líderes habían entrado al nuevo movimiento. Un grupo de personas que buscaban jubilaciones, por ejemplo, no formaba parte del movimiento, argumentando que el movimiento era sólo un trampolín para que los otros líderes se posicionaran para las elecciones municipales. Con ello sugerían que el objetivo principal de los líderes del movimiento no era apoyar al pueblo, sino promocionar sus propios “intereses”, es decir, “hacer política”.⁴

Aun así, estos problemas prácticos en realidad no constituyeron obstáculos mayores a la distinción entre las nociones de lo que aquí he llamado el pueblo íntimo, y el pueblo-población. Como he querido subrayar, estas nociones no corresponden a intentos por describir las relaciones existentes entre los actores involucrados en las negociaciones sobre la nueva presa. Lo central de estas nociones es su carácter normativo, o ético, algo que no sólo encontramos en las maneras de imaginar la propia posición y la conducta del Otro, sino también en la dimensión metodológica, es decir, en la manera de constituir el pueblo discursivamente. Como hemos visto con la conceptualización de “la política” en Chicoasén, no hay ningún impedimento para mantener un discurso coherente al señalar a alguien del pueblo por actuar como un político. A pesar de la posibilidad de incluir a una persona en el pueblo, desde una perspectiva como la que señala Eiss —por ejemplo, como parte de un pueblo rural, por sus lazos de parentesco, y por conocer todas

⁴ Esta posición se debe relacionar con su posición marginal en el ejido. Por constituir una minoría, no fueron tomados en cuenta ni por el comisario ejidal a la hora de repartir las recompensas por parte de la CFE, según los integrantes del mismo grupo. En el contexto chiapaneco, esta manera de organizar la redistribución de recursos no es nada extraordinaria (cf. Larsson, 2012: 99).

las cocinas de los habitantes— existen maneras de excluir a alguien del pueblo por la posición que ocupa. Como ha señalado Eiss, formar parte del pueblo corresponde a una cierta posición: de obrero; de ejidatario; de alguien pobre que no ha cursado una licenciatura, etcétera. Más importante es justamente la cuestión ética. Si alguien no cumple con sus obligaciones morales con el pueblo, tampoco es evidente que sea considerado como un miembro incuestionable del “pueblo”. Lo que vemos aquí es que, en realidad, los límites del pueblo son bastante ambiguos y dependen de una serie de factores que a su vez se filtran por la percepción de otros.

Conclusiones: política energética en la práctica

Aquí he descrito cómo las negociaciones en torno a la nueva presa se desarrollan en un juego complicado entre diferentes perspectivas éticas. Sin embargo, estas perspectivas nunca se presentan como tales, y más bien se asume que todos parten del mismo entendimiento de las cosas, lo cual implica una dificultad por entender una perspectiva diferente a la propia: actos que corresponden a una perspectiva ética distinta aparecen como irracionales o corruptos. Este tipo de malentendidos son bastante problemáticos, porque llegan a dificultar el diálogo entre las partes involucradas en negociaciones como las que se hacían en Chicoasén.

Lo que he mostrado es que el director de la nueva presa percibía los conflictos en torno a la presa a través de una distinción conceptual entre la razón y las emociones, mientras los habitantes más bien distinguían entre “la política” y ciertas normas morales. Esta diferencia entre

el director y los habitantes se refleja también en la distinción entre las dos maneras de conceptualizar al “pueblo”. Por un lado, el “pueblo-población”, promovido por los representantes de la CFE, se basa en una definición formalista del término que, además, descarta formas de entendimientos del concepto que no se basan en estadísticas y “datos duros”. El “pueblo íntimo”, por el otro lado, se construye a partir de relaciones cotidianas de parentesco y de amistad, donde las desviaciones de la moralidad ligada a la noción se entienden como inmersas en “la política”. La misma división aparece directamente relacionada a la nueva presa, y las maneras de percibir a las partes involucradas en su construcción. Desde la perspectiva ligada a la noción de pueblo-población (es decir, para la CFE), el hecho jurídico principal para las negociaciones era la compra-venta de los terrenos donde se planeaba construir la nueva presa. Por ello, las partes relevantes eran la CFE (el comprador) y los dueños formalmente reconocidos de los terrenos (el vendedor). Desde la perspectiva ligada a la noción del pueblo íntimo, por el otro lado, los terrenos que la CFE quería comprar no se podían separar del territorio del pueblo, por lo que la relación central tendría que ser entre la CFE y el pueblo de Chicoasén.

A pesar de esta diferencia fundamental entre las perspectivas que he discutido aquí, también podemos ver cómo no se podían utilizar estas diferencias para entender cualquier acto. Así, los habitantes de Chicoasén también podían actuar de manera “egoísta”, pasando así a la esfera de “la política”, de la misma manera que la CFE expandía sus compensaciones por la nueva presa, mucho más allá de las partes legales involucradas, reconociendo así la existencia de una moralidad defendida por los habitantes de Chicoasén. En resumen, más que una relación bipolar entre la CFE y “el pueblo”, como solía ser presenta-

da por todas las partes involucradas en las negociaciones, lo que he querido subrayar aquí es el trabajo que se necesita para presentar una separación clara entre dos polos, un trabajo que se relaciona con la dimensión normativa o ética de esa separación.

A partir de esta discusión tenemos una mejor idea acerca del significado de la política energética en lugares como Chicoasén, que un acercamiento que se enfocaría en la discusión pública sobre política energética (es decir, en la actualidad, sobre los campos de lo público y lo privado, de lo renovable y no-renovable). Para llegar a este punto, he mostrado la importancia de poner atención en los conceptos etnográficos (es decir, las maneras locales de conceptualizar las cosas) para no perder de vista aspectos centrales que corren el riesgo de desaparecer en conceptos académicos establecidos (sin dejar de tener una distancia crítica a esas mismas conceptualizaciones). Así, he señalado la importancia de una definición analítica de “la política” que sea más limitada que las definiciones amplias, donde resulta difícil encontrar algo que *no* pudiera conceptualizarse como tal. Sin ello, la crítica local de “la política” también tendría que entenderse como “política”, lo cual pierde de vista el fondo moral de esa crítica. Asimismo, he mostrado los límites de la llamada “economía moral”, donde la moral se percibe como contrapuesta a la política. Si bien este tipo de lectura correspondería a la crítica local de “la política”, una mirada crítica debe admitir el proyecto moral también detrás de esa política. El resultado del análisis es por lo tanto una lectura que pone énfasis en diferencias éticas, más que una diferencia entre mundos completamente diferentes, sin ambigüedades, traslapes, y posibilidades de moverse de un lado a otro.

Como he ido señalando en el texto, este análisis agrega elementos importantes al uso académico del concepto “política”. Por un lado,

he mostrado lo problemático que puede resultar envolver cualquier acto o idea con el término *politics* y, por el otro, he mostrado que la situación en Chicoasén no cabe dentro de la tradición que típicamente ha enfatizado la existencia de un espacio afuera de “la política” (o, más específicamente, de la economía política): la tradición de la economía moral. Lo que he sugerido es que la ética no es algo opuesto de la política y podemos encontrar conflictos entre perspectivas éticas. Una consecuencia de esta manera de plantear las cosas es que debemos encontrar situaciones donde diferentes corrientes políticas se inspiran en perspectivas éticas en conflicto. Implícito aquí encontramos una separación entre esferas de acción, donde la ética se entiende como algo que gira en torno a lo (moralmente) correcto o incorrecto de un acto, llevado a cabo por un individuo, mientras la política trata de cómo debe actuar el Estado. Si bien esta separación entre política y ética no es nueva, ha desaparecido en las discusiones contemporáneas sobre la política y sobre la economía moral.

Siguiendo este análisis, algo que he querido enfatizar en este capítulo es que no resulta suficiente conocer los aspectos técnicos de la construcción de presas, refinerías o parques eólicos para llevar a cabo un proyecto de esa naturaleza, ni tampoco es suficiente manejar los argumentos económicos, políticos y ambientales a favor o en contra de una manera específica de producir la energía, ni quién debería estar a cargo de esa producción. Al querer implementar políticas públicas en materia energética, también hay que tener *hard skills* en torno a la relación con las personas involucradas en el proceso, lo cual implica conocimientos sobre prácticas e ideales de organización social. En realidad, por más empática sea una persona —por más *soft skills* que tenga en ciertas relaciones— no va a ayudar mucho si no se cuenta

con los *hard skills* necesarios para empezar. Dicho de otra manera, un entendimiento de los conceptos que entran en juego en un lugar como Chicoasén, es mucho más útil que una idea vaga sobre la importancia de ser más sensibles.

Referencias

- Adler, L. (2003 [1975]), *Cómo sobreviven los marginados*, Siglo XXI Editores, Ciudad de México y Buenos Aires.
- Bartolomé, M. A. (2004 [1997]), *Gente de costumbre y gente de razón: Las identidades étnicas en México*, Siglo XXI Editores, Ciudad de México y Buenos Aires.
- Cabrera, V. F. (2020), La electricidad en tiempos del Covid-19 (y el riesgo del combustóleo, otra vez), *Nexos* 506, disponible en <https://www.nexos.com.mx/?p=47409> (3 de junio de 2020).
- Camas, F. (9 de noviembre de 2019), Chiapas produce 54% de la electricidad de México, *NVI Noticias*, disponible en <https://cutt.ly/Bmdtojj> (3 de junio 2020).
- Candea, M. (2011), ‘Our division of the universe’: Making a space for the non-political in the anthropology of politics, *Current Anthropology* 52(3): 309-334.
- CENACE (2020), Acuerdo para garantizar la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional, con motivo del reconocimiento de la epidemia de la enfermedad por el virus SARS-CoV2 (COVID-19), disponible en <https://cutt.ly/Imdte5y> (24 de mayo de 2020).
- CFE (s.f.), *Plan de Desarrollo Integral*, Cabecera Municipal de Chicoasén.
- Chanona, A. (2020), El papel de las energías renovables frente a la crisis, *Nexos* (508), disponible en <https://cutt.ly/Fmdoy8c> (4 de junio de 2020).
- Contreras, R. (2002), La Investigación acción participativa (IAP): revisando sus metodologías y sus potencialidades, en Durston, J. y Miranda, F. (comp.), *Experiencias y metodología de la investigación participativa*, Cepal, Santiago de Chile, 9-17.
- Davidoff, L. y Hall, C. (1987), *Family fortunes: Men and women of the English middle class, 1780-1850*, Hutchinson, Londres.

- Díaz, K. (2015), Chiapas produce más del 40% de energía hidroeléctrica, *Cuarto Poder*, disponible en <https://cutt.ly/hmdoQKN> (3 de junio de 2020).
- Eiss, P. K. (2010), *In the Name of el Pueblo: Place, Community, and the Politics of History in Yucatán*, Duke University Press, Londres.
- Enríquez, E. y Mariscal, Á. (2009), La resistencia a pagar altas tarifas de la CFE en Chiapas llega a 40% de usuarios, *La Jornada*, p. 31, disponible en <https://cutt.ly/4mdoFew> (21 de junio de 2020).
- Foucault, M. (2004), *Sécurité, territoire, population: Cours au Collège de France (1977-1978)*, M. Senellart Ed., París.
- Gobierno del Estado (s.f.), *Plan estatal de desarrollo Chiapas, 2019-2024*, disponible en <https://cutt.ly/jmdoC7N> (24 de mayo de 2020).
- Götz, N. (2015), 'Moral economy': Its conceptual history and analytical prospects, *Journal of Global Ethics* 11(2): 147-162, The provided link is incorrect (18 de junio de 2020).
- Hanisch, C. (1970), The personal is political, en Firestone, S. y Koedt, A., *Notes from the second year: Women's liberation*, Radical Feminismo, Nueva York, 76-78.
- Henriquez, E. (10 de Febrero de 2020), Protestan por altas tarifas de la CFE en Chiapas, *La Jornada*, disponible en <https://cutt.ly/8mdprUo> (21 de junio de 2020).
- Larsson, M. (2012), El brillo de la imagen: la disputa por la Ciudad Rural Sustentable en Santiago el Pinar, Tesis, CIESAS, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.
- Larsson, M. (2017), Development in Chiapas: Dams, tourism and peasant politics, Tesis, University of Manchester, Mánchester.
- Larsson, M. (2018), Navigating through contradictory rationalities: Experiences of development in Mexico, *Regions and Coherence* 8(3): 70-93
- Lefort, C. (1988), *Democracy and political theory*, Polity Press, Cambridge.
- Morales, J. (2018), La expropiación petrolera en los libros de texto gratuito: aportes al imaginario social, *Revista de Psicología* 19: 181-193.
- Mouffe, C. (1995), Post-Marxism: Democracy and identity, *Environment and Planning D: Society and Space* 13(3): 259-265,
- Orwig, M. L. (2020), Rethinking soft skills through front-stage and back-stage genres, *Business and Professional Communication Quarterly* 83(2): 223-233.
- Popkin, S. (1980), The rational peasant: The political economy of peasant society,

- Theory and Society* 9(3): 411-471.
- Ramírez, V. F. (2020), La electricidad en tiempos del Covid-19 (y el riesgo del combustible, otra vez), *Nexos*, disponible en <https://www.nexos.com.mx/?p=47409>.
- Scott, J. (1977), *The moral economy of the peasant: Rebellion and subsistence in Southeast Asia*, Yale University Press, New Haven y Londres.
- Secretaría de Energía. (2019), *Balance nacional de energía 2018*, Ciudad de México, disponible en <https://cutt.ly/WmdpSXD> (3 de junio 2020).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (s.f.), *Capacidad instalada y generación de electricidad por sector y fuente de energía limpia*, disponible en <https://cutt.ly/ImdpJKg> (4 de junio 2020).
- Slater, D. (1998), Rethinking the spatialities of social movements: Questions of (b)orders, culture, and politics in global times, en Álvarez, S.; Dagnino, E. y Escobar, A. (eds), *Culture of politics, politics of cultures: Re-visioning Latin American social movements*, Westview Press, Boulder, Colorado, 380-401.
- Thompson, E. P. (1971), The moral economy of the English crowd in the eighteenth century, *Past & Present*, 50: 76-136.
- Transparencia Mexicana (2015), Testimonio que presenta Transparencia Mexicana, A.C., como Testigo Social en el procedimiento de Licitación Pública Internacional bajo la Cobertura de Tratados No. LO-018TOQ054-T17-2014, para la adjudicación del contrato mixto de obra pública, disponible en <https://cutt.ly/Umdae2O> (24 de mayo 2018).
- Wilson, J. (2009), Abstract space and the plan Puebla Panamá: A Lefebvorean critique of regional development in Southern Mexico, Tesis, Universidad de Manchester, Manchester.
- Wolf, E. (1957), Closed corporate peasant communities in Mesoamerica and Central Java, *Southwestern Journal of Anthropology* 13(1): 1-18.
- Wootton, D. (2018), *Power, pleasure and profit: Insatiable appetites from Machiavelli to Madison*, Harvard University Press, Cambridge y Londres.

CAPÍTULO 14

Algunas simulaciones basadas en la función de producción agregada para enfrentar los choques de oferta y demanda ligados al coronavirus

Carlos Guerrero de Lizardi

While these achievements are significant, Europe will not achieve its sustainability vision of ‘living well within the limits of the planet’ by continuing to promote economic growth and seeking to manage the environmental and social impacts. The report urges European countries, leaders and policymakers to seize the opportunity and use the next decade to radically scale up and speed up actions to put Europe back on track to meeting its medium and longer-term environmental policy goals and targets to avoid irreversible change and damage.

[European Environment Agency \(2019: 1\).](#)

La teoría económica dispone de varias hipótesis en torno a las restricciones al crecimiento. Por un lado, encontramos a la teoría neoclásica fundada por [Solow \(1956, 1957\)](#) y sus desarrollos posteriores, los cuales, al decir del premio Nobel, se asientan firmemente en sus ideas seminales ([Solow, 1987, 2005](#)). De frente encontramos a las también variopintas posturas keynesianas, destacadamente a la versión postkeynesiana de tercera generación ([Moreno-Brid y Pérez, 2003](#); [Guerrero, 2006](#)). Paralelamente encontramos, entre otras, a la restricción ligada a la biocapacidad, según la cual, desde mediados de los años setenta del siglo pasado, México y el mundo genera un déficit ligado al incremento de la huella ecológica ([Wackernagel et al., 2019](#)). Naturalmente, de cada una se desprenden recomendaciones de política.

Como resultado de esta dispersión teórica, en nuestra revisión de la literatura empírica hemos encontrado casi cualquier cosa. Esta percepción nuestra es compartida por los compiladores del más reciente *Handbook of Economic Growth*, quienes resumieron el estado del arte así ([Durlauf et al., 2005: 558](#)):

As illustrated in Appendix 2 of this chapter, approximately as many growth determinants have been proposed as there are countries for which data are available. It is hard to believe that all these determinants are central, yet the embarrassment of riches also makes it hard to identify the subset that truly matters.

Los propósitos de este capítulo son los siguientes. En primer lugar, abordar algunos detalles del modelo de [Solow \(1956, 1957\)](#) que, creemos, no han sido suficientemente apreciados por la literatura en

juego y que representarían, paradójicamente, una postura heterodoxa en términos de la instrumentación de políticas. En segundo, realizar un análisis econométrico inspirado en la teoría del crecimiento neoclásica utilizando algunas series de tiempo de KLEMS. En tercer lugar, siguiendo paso a paso la metodología utilizada por la SHCP, replicar su estimación del PIB potencial y el ciclo económico, y contrastar ambas variables no directamente observables con nuestros propios ejercicios. En cuarto, presentar algunas simulaciones de la trayectoria del PIB en volumen y de los requerimientos de capital con su porcentaje de utilización, según las metas de crecimiento económico 2019-2024 y según el escenario de crecimiento acelerado, así como evaluarlas añadiendo los pronósticos tanto de la Encuesta a Especialistas levantada por el Banco de México como por el Fondo Monetario Internacional.

Queremos dejar claro que, si bien los acontecimientos iniciados en 2020 y otros tantos del 2021 ya modificaron tanto las expectativas como los escenarios para México y el mundo, también es correcto afirmar que un gobierno debe actualizar sus políticas para enfrentarlos, pues a su cierre será evaluado considerando las políticas públicas implementadas y omitidas. Al respecto, destacamos que nuestro análisis sugiere un efecto claramente positivo, esto es, relajante, sobre las restricciones al crecimiento —por el lado de la oferta, demanda interna, balanza de pagos y ambiental— que se obtendría de la implementación de políticas contra-cíclicas y pro-crecimiento digamos tradicionales, y otras, siguiendo a [Solow \(1987\)](#), basadas en la adaptación de las tecnologías y en la modificación de la ratio capital-trabajo. Decepcionantemente, la 4T apenas ha utilizado unos pocos instrumentos con resultados trágicos para millones y millones de personas. A su favor recordemos que la ortodoxia fiscal-monetaria y la relativa a las políticas

microeconómicas domina los puntos de vista de muchos gobiernos, de las calificadoras y de los organismos multilaterales.

Con el ánimo de aplicar la regla de oro de cualquier ciencia relativa a la replicación ([Duvendack *et al.*, 2015](#)), queremos comentar que a lo largo del documento explicitamos las decisiones tomadas y al final de éste presentamos un anexo estadístico con los datos de elaboración propia con base en KLEMS y en el Sistema de Cuentas Nacionales.

Fundamentos teóricos

Naturalmente, el punto de partida es [Solow \(1956\)](#), específicamente la función de producción agregada:

$$Y = AK^{\alpha}L^{(1-\alpha)} \quad (1)$$

La ecuación (1) afirma que el nivel de producto potencial, medido en unidades físicas, está en función del cambio técnico (A), el acervo de capital (K) y la cantidad de empleo (L). En la ecuación (1), los coeficientes α y $(1 - \alpha)$ representan las participaciones de los factores de la producción en el ingreso. [Solow \(2005: 5 y 9\)](#) explicitó la temporalidad analítica y “calendario” de su teoría:

Neoclassical growth theory is about the evolution of potential output. In other words, the model takes it for granted that aggregate output is limited on the supply side, not by shortages (or excesses) of effective demand. . . This suggests to me that the natural habitat of growth theoretic explanations is time-spans of 25 to perhaps 40 or 50 years. Anything much

shorter is likely to mix up supply-side and demand-side effects, and anything much longer runs the risk of overlooking some events that ought to be accounted for explicitly.

Si bien la ecuación (1) señala los determinantes del crecimiento económico en el largo plazo, a saber, la acumulación de capital y de trabajo, y la introducción del cambio técnico, cabe subrayar que la variable clave, el llamado residuo de Solow o más recientemente productividad total de los factores (TFP), no es directamente observable. Así, en el siguiente año [Solow \(1957\)](#) propuso paso a paso la metodología para calcularlo, o puesto con otras palabras, desarrolló la metodología para discriminar las contribuciones al crecimiento económico de cada una de las tres variables presentes en la función de producción agregada.

Para implementarla, [Solow \(1957\)](#) explicitó con todo detalle cada decisión tomada. Queremos destacar las siguientes:

1. *“The conceptually cleanest measure of aggregate output would be real net national product. But long NNP series are hard to come by, so I have used GNP instead” (p. 314).*
2. *“The capital time series is the one that will really drive a purist mad... something must be done about the fact of idle capacity... Lacking any reliable year-by-year measure of the utilization of capital I have simply reduce the Goldsmith figures by the fraction of the labor force unemployed in each year, thus assuming that labor and capital always suffer unemployment to the same percentage” (p. 314).*

La variable del lado izquierdo de la ecuación (1) disponible en cualquier sistema de cuentas nacionales no es el producto potencial sino el producto realizado, y bruto, no neto, por lo que consecuentemente

[Solow \(1957\)](#) requirió ajustar el acervo de capital según su grado de utilización y tomar únicamente en cuenta a los trabajadores empleados. Subrayemos que el ejercicio empírico de [Solow \(1957\)](#) cubrió 41 años, de 1909 a 1949, y en todos y cada uno de los mismos —incluidos por ejemplo los años de guerra— ajustó por el grado de uso, implicando que las economías de mercado funcionan aún bajo circunstancias extremas, por debajo del pleno empleo. Otro corolario es el siguiente. Si el ciclo económico se define como la diferencia entre el producto potencial y el PIB observado, entonces la señal obtenida —siempre y bajo cualquier circunstancia— registrará un signo negativo, implicando que las economías de mercado funcionan normalmente por debajo del pleno empleo, esto es, sin utilizar ni plena ni eficientemente los recursos productivos disponibles.

Los contenidos teóricos y empíricos de ambos documentos tienen las ideas más sólidas disponibles respecto al crecimiento económico. Remitimos a [Solow \(1997, 2001, 2005, 2007, 2008\)](#) para un incomparable análisis, minucioso y crítico, de sus propias ideas seminales, así como las de otros economistas que han contribuido a las teorías del crecimiento económico. Por nuestra parte sólo queremos ayudar al entendimiento cabal de sus aportaciones desarrollando cuatro consideraciones.

Primera consideración. En algún sentido la contribución más visible a las teorías del crecimiento económico de [Solow \(1956, 1957\)](#) radica en una sola brillante ecuación en la que aparecen, como ya comentamos, tres variables y dos parámetros. Por tanto, para identificar el cambio técnico, el premio Nobel tuvo que suponer que detrás de las participaciones se encontraba la regla de los productos marginales. No hacerlo así habría imposibilitado la identificación de la variable A con el cambio técnico.

Segunda consideración. La etiqueta que utilizamos para clasificar a una variable como endógena o exógena no es económica sino matemática-estadística, en el contexto de una ecuación o un sistema de ecuaciones. En el extremo encontramos dos casos, solo la variable del lado izquierdo es declarada endógena y el resto son definidas como exógenas (el caso más simple); o todas las variables que conforman un sistema de información son tratadas como endógenas, lo que exige contar con el mismo número de ecuaciones (el caso más complejo). Así, en la medida que Solow propuso una única ecuación tuvo que declarar al cambio técnico exógeno, pero recordemos, se ocupó de enlistar sus determinantes (1957: 312):

I am using the phrase ‘technical change’ as a shorthand expression of any kind of shift in the production function. Thus slowdowns, speedups, improvements in the education of the labor force, and all sorts of things will appear as ‘technical change’.

Puesto en lenguaje contable, los argumentos de su función aparecen de manera correcta: la cantidad de capital y de trabajo sin cambios de calidad, y el cambio técnico contabiliza, precisamente, a estos cambios.

Tercera consideración. Sobre el debate en torno a la teoría del capital entre los dos Cambridge subrayamos que, como reconoció el propio Solow en 1957 (p. 312), el problema de agregación aparece en cualquier análisis macroeconómico, por ejemplo, la función de consumo keynesiana y, en efecto, el salto de las unidades físicas a las unidades monetarias introdujo un problema de lógica que rebasa su enfoque

seminal. En los términos más simples, si bien en un análisis micro-económico perfectamente delimitado el producto marginal del capital determina el precio del capital, cuando realizamos un análisis macro-económico utilizando la ecuación (1) utilizamos el valor del capital (precio por cantidad) para determinar, precisamente, el precio del capital. A propósito, [Sen \(1974\)](#) ya agotó hace tiempo y de manera creativa dicha “controversia”. Baste señalar que en ese documento el narrador, el Venerable Subhuti, a raíz de una conversación con Buddha, renace en el siglo XX no sólo como hombre sino como economista especializado en la teoría del capital.

Cuarta consideración. Aunque no se subraya frecuentemente la función de producción agregada implica, en el corto plazo, la constancia de algunos coeficientes técnicos, entre otros la relación capital/trabajo, y supone que tanto el capital como el trabajo están referenciados inicialmente a una actividad económica. Sin embargo, existe algún grado de sustituibilidad entre los factores de la producción, o dicho en términos más generales, existe alguna flexibilidad productiva que abre, cabe enfatizar, la puerta al ejercicio de las políticas públicas ortodoxas y heterodoxas. Al respecto, [Solow \(1987: 2\)](#) afirmó:

I know that it occurred to me very early, as a natural-born macroeconomist, that even if technology itself is not so very flexible for each single good at a given time, aggregate factor-intensity must be much more variable because the economy can choose to focus on capital-intensive or labor-intensive or land-intensive goods.

Hechos estilizados

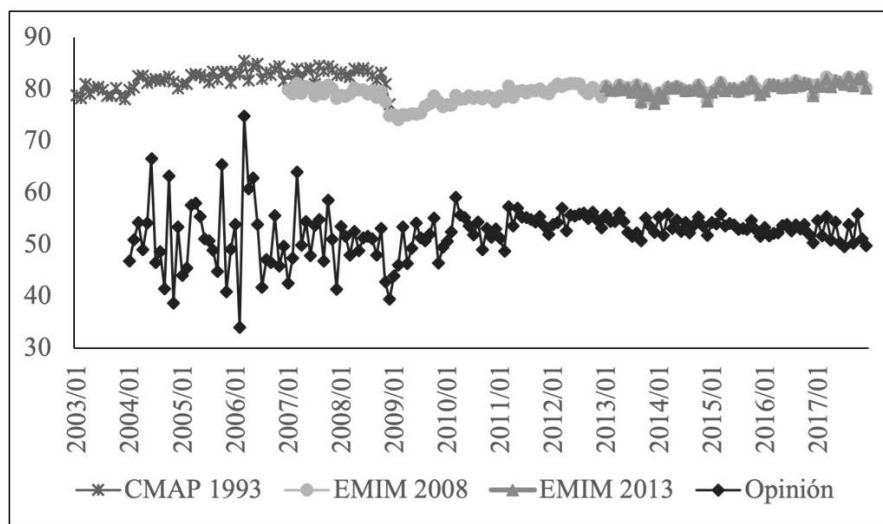
Desde la función de producción agregada propuesta por [Solow \(1956, 1957\)](#) la relación capital-trabajo representa un coeficiente técnico medido en cantidades, y se espera que no varíe en el corto plazo y que salte como consecuencia de los choques de oferta, esto es, aquellos originados por el cambio técnico. Desde la contabilidad macroeconómica el valor observado que mejor lo expresa es la ratio entre el acervo neto de capital y el número de puestos de trabajo, o de horas trabajadas. Esta relación contable puede leerse como el gasto requerido para dotar a un trabajador del capital necesario para llevar a cabo el acto de la producción o, lo que es equivalente, el gasto requerido para generar un puesto de trabajo.

Esta relación capital-trabajo empírica puede calcularse fácilmente utilizando la información contenida en KLEMS.¹ Sin embargo, hacerlo así implicaría, colateralmente, suponer el uso pleno de los activos fijos. Otra manera de hacerlo, o dicho propiamente ajustarla, es a través de dos fuentes de información disponibles: las Encuestas Industrial Mensual y Mensual a la Industria Manufacturera (CMAP y EMIM), y la Encuesta Mensual de Opinión Empresarial. Así, la figura 1 contiene el grado de uso de la capacidad de planta según distintos ejercicios estadísticos.

Entre 2003 y 2017 el porcentaje de uso de los activos fue de 80% en promedio, con un mínimo de 76 y un máximo de 83%. Utilizando la CMAP 1993 y EMIMS 2008 y 2013 ajustamos la relación capital-trabajo.

¹ [Guerrero \(2009\)](#) realizó una contabilidad del crecimiento utilizando otra fuente de información, a saber, los *Censos Económicos*.

Figura 1
Porcentaje de la capacidad de planta utilizada en las manufacturas



Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de INEGI.

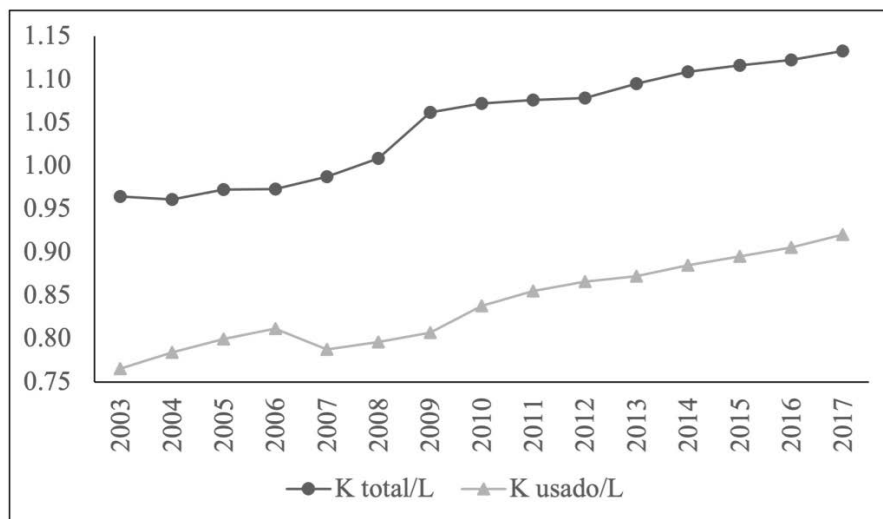
Así, tenemos dos versiones de la relación capital-trabajo empírica, una tomando como denominador el capital registrado en KLEMS, y otra ajustándolo según el grado de uso de los activos fijos.

Otra relación clave es la productividad del trabajo, puesto contablemente, la ratio entre el valor agregado neto y el número de puestos de trabajo que refleja el esfuerzo productivo individual de los trabajadores, la disponibilidad de capital, esto es, la relación capital-trabajo empírica y los vaivenes de la producción, es decir, el ciclo económico.

Las variables contenidas en las figuras 2 y 3 acusan una tendencia ascendente. En el caso de la “productividad del trabajo” la caída en el 2009 no refleja, evidentemente, un fenómeno técnico, sino

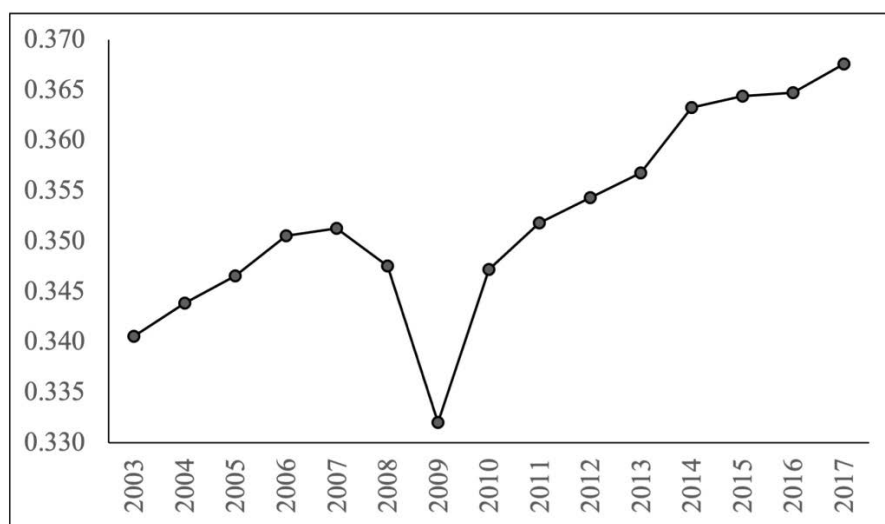
la contracción de la economía ligada a la gran crisis mundial. Este hecho estilizado sirve para recordarnos que la productividad del trabajo evoluciona de manera pro-cíclica y, en esa medida, es influenciable desde las políticas públicas. Subrayemos: este hecho estilizado reconocido por la literatura —incluidos los tradicionales estudios de la OCDE y del NBER— representa una de las mejores y más claras piezas de evidencia empírica respecto a la justificación para el ejercicio de las políticas ortodoxas y heterodoxas.

Figura 2
Relación capital-trabajo en la economía mexicana 2003-2017
(millones de pesos a precios de 2013 por puesto de trabajo)



Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de INEGI.

Figura 3
Productividad del trabajo en la economía mexicana 2003-2017
(millones de pesos a precios de 2013 por puesto de trabajo)



Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de INEGI.

Algunas simulaciones

La función de producción agregada es no lineal. Para abordarla desde el análisis econométrico, esto es, desde el modelo clásico de regresión lineal (MCRL), requerimos linealizarla, calculando los logaritmos naturales de las variables en juego. Así, nuestro instrumento de medición, el modelo uniecuacional llamado MCRL, se corresponde con el modelo económico-matemático propuesto en la ecuación (1).²

² “El problema central de la medición es el diseño de reglas para que ésta sea lo más confiable posible. . . La medición en economía no es un campo o investigación unificada,

De la información contenida en KLEMS extrajimos, en primer lugar, el valor agregado bruto, al cual restamos el consumo de capital para disponer del neto (VAN); en segundo, el acervo de capital, el cual ajustamos según la información de las encuestas a las manufacturas para disponer del capital en uso ($KUSO$); y en tercero, el número de puestos de trabajo (L) desagregado por sectores, primario, secundario (SEC) y terciario, o su semejante en términos de horas trabajadas.

El modelo uniecuacional contenido en (2) muestra los resultados de la estimación de la función de producción agregada por mínimos cuadrados ordinarios para el periodo 2003-2017.

$$\log VAN = -1.65 + 0.49 * \log KUSO + 0.58 * \log(LSEC) \quad (2)$$

$\begin{matrix} (-1.16) & (8.13) & (4.15) \end{matrix}$

La constante representa el llamado residuo de Solow, y recordemos que se trata de un logaritmo natural, por lo que si calculamos su exponente obtenemos un número positivo en millones de pesos a precios de 2013. Su significancia estadística medida por el valor de la t resultó nula, hecho que no nos sorprende dado el desempeño reciente de la economía mexicana. Los otros dos coeficientes estimados hacen sentido en términos de su valor y su signo, resultaron significativos estadísticamente hablando, y deben interpretarse como elasticidades. Los puestos de trabajo en los sectores primario y terciario resultaron no significativos, esto es, sólo registró una t mayor a dos el secundario,

sino que está fragmentada en varios campos con su propia metodología e historia, por ejemplo, la econometría, la teoría de los números índice, y las cuentas nacionales” Boumans (2007: 3).

curiosamente siguiendo al hecho estilizado kaldoriano. El coeficiente de determinación ascendió a 0.98, lo que no nos sorprende ya que detrás de la especificación propuesta tenemos una ecuación de identidad.³

En la misma dirección realizamos otro análisis de regresión sustituyendo el número de puestos de trabajo por el número de horas trabajadas. Los resultados fueron similares en todos los sentidos, el cambio técnico resultó no significativo, y solamente el número de horas trabajadas en el sector secundario registró un valor t mayor que dos. El valor de las elasticidades fueron 0.48 y 0.57, para el capital usado y las horas trabajadas, y el coeficiente de determinación fue de 0.98. Cabe subrayar que en todos los casos reportados en el presente documento se realizaron las pruebas estadísticas correspondientes, desde la Dickey-Fuller Aumentada y la Phillips-Perron, hasta la revisión de la estacionariedad de los residuales, pasando por la batería inspirada en el principio de adecuación estadística de David Hendry y Aris Spanos. En todos los casos los resultados de las pruebas fueron aceptables.

El siguiente paso para realizar nuestras simulaciones fue realizar un análisis de regresión teniendo como variable endógena el número de puestos de trabajo en el sector secundario. Inspirados en la función de producción agregada, sus determinantes obvios son el acervo de capital en uso y echando mano de un sentido económico-estadístico, su propio valor rezagado un periodo. Los resultados de la estimación fueron:

³ Así por ejemplo, en las cinco regresiones que reportó Solow (1957: 319) los coeficientes de determinación ascendieron a 0.99, en la medida que utilizó como variable explicada la productividad del trabajo (observada) y como explicativa la relación capital-trabajo, que ajustada por uso generó un problema de endogeneidad o sesgo de Haavelmo.

$$LSEC = 4,843,336 + 0.08 * KUSO + 0.34 * LSEC(-1) \quad (3)$$

(4.34)
(2.85)
(2.22)

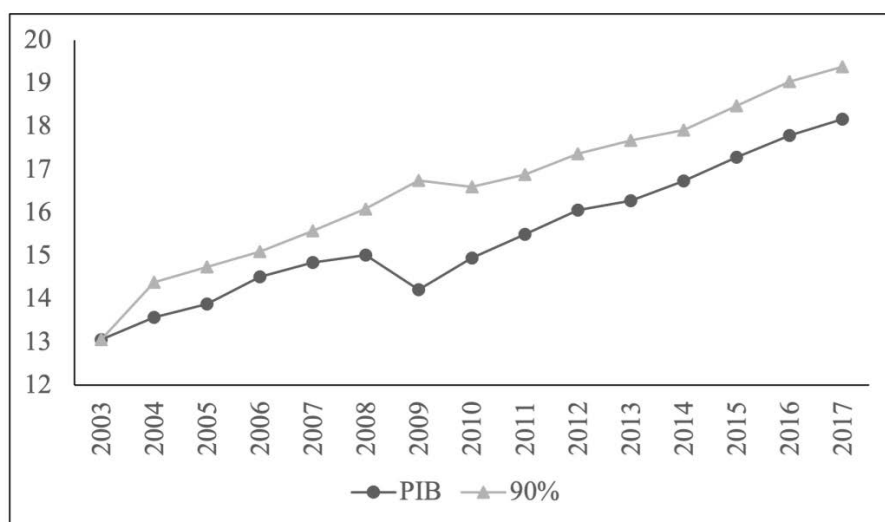
Tanto la constante como las dos variables resultaron significativas estadísticamente hablando, y el coeficiente de determinación ascendió a 0.85. En este caso los parámetros estimados deben entenderse como propensiones marginales.

Un primer ejercicio de simulación salta a la vista. Con base en los resultados de la estimación de la función de producción agregada fijamos otro porcentaje en el grado de uso de los activos fijos, 90%, o lo que es lo mismo, al máximo histórico de 83% le sumamos 7 puntos porcentuales, para entonces simular otra trayectoria de la economía mexicana durante el periodo histórico analizado (figura 4).

Entre 2003 y 2017 la tasa de crecimiento media anual del PIB observado fue de 2.38%. Los resultados de nuestra simulación arrojaron una tasa de 2.86%. Queremos resaltar dos consideraciones. Si bien fijamos un grado de uso del acervo de capital en 90%, lo que implicaría un estado de “calentamiento” productivo para algunos ortodoxos, el crecimiento del PIB en volumen obtenido fue apenas ligeramente mayor, es decir, ni siquiera saltó un punto porcentual. Por otro lado, la simulación propuesta sí contrasta con lo acontecido en la economía mexicana en el 2009, en el sentido que su trayectoria se sostuvo ascendente; y también en el 2010, considerando el valor observado en el 2008. Así, en términos históricos y desde la teoría económica se abre la pregunta sobre el papel que pudieron jugar las políticas ante un escenario adverso, específicamente un choque externo negativo; justo como el que enfrentamos en 2020 y 2021, un choque de oferta inicial

ligado al coronavirus y cuyo efecto dominó sobre las demandas por la no implementación de políticas convencionales y otras.

Figura 4
PIB en volumen, observado y simulado, 2004-2017
(billones de pesos a precios de 2013)



Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de INEGI.

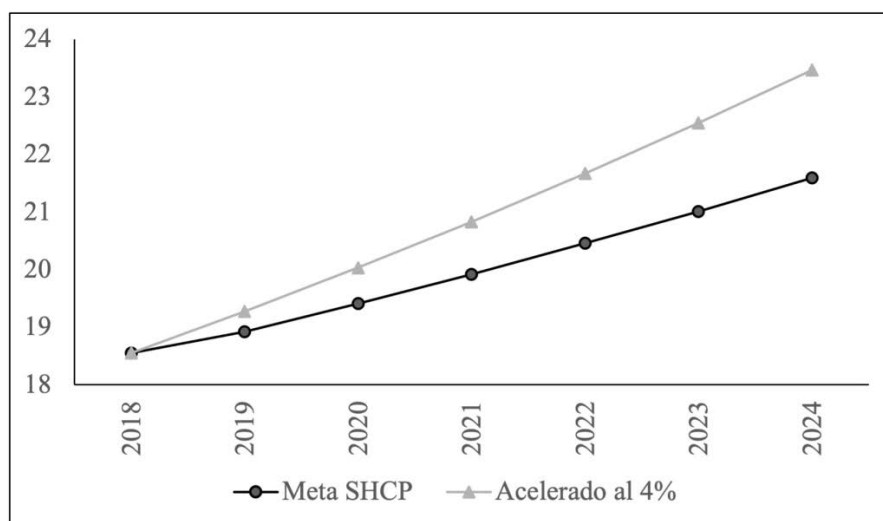
La segunda simulación tiene dos partes. La primera está ligada al escenario propuesto por los Criterios Generales de Política Económica 2019. En el documento publicado por la SHCP se establecieron como metas de crecimiento económico para el 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 los siguientes valores respectivamente: 2.0, 2.6, 2.6, 2.7, 2.7, y 2.8%, implicando una tasa de crecimiento media anual de 2.57% entre 2018 y 2024. Al respecto señalemos entonces que la diferencia entre la meta y el valor observado ya disponible en el 2020 representa el efecto

económico de la pandemia, y tanto o más importante, de las políticas instrumentadas y omitidas (con información al mes de noviembre el IGAE disminuyó 8.48%, implicando una brecha de más de once puntos porcentuales respecto a la meta, ni más ni menos).

Con base en nuestros resultados empíricos utilizando a KLEMS, nos preguntamos acerca de los requerimientos en términos del crecimiento del acervo de capital y, derivadamente, del número de puestos de trabajo en el sector secundario para alcanzar dichas metas. La segunda parte tiene que ver con simular un crecimiento de la economía de 4% en el mismo periodo. Los resultados están en la figura 5.

Figura 5

PIB en volumen según la meta de la SHCP y nuestra propuesta de crecimiento acelerado (billones de pesos a precios de 2013)

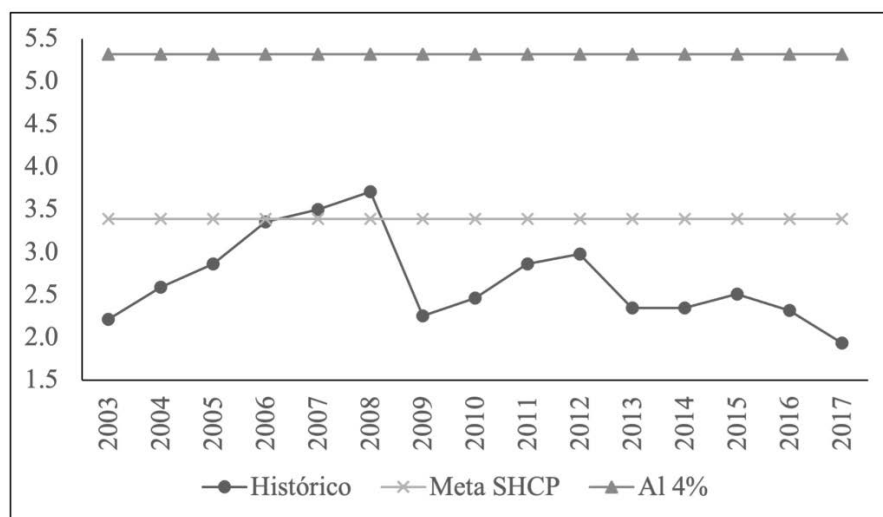


Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de INEGI.

Para que la economía evolucione según las metas propuestas por la SHCP, el acervo de capital debería crecer en media anual 3.39% en el periodo 2018-2024. Para que la economía mexicana logre un crecimiento “acelerado”, digamos de 4% a lo largo del presente sexenio, el acervo de capital debería crecer, en media anual, 5.32%. Y la pregunta es inmediata: ¿qué tan posible es acumular los requerimientos de capital necesarios para crecer al 2.57% y al 4%? La respuesta, desde una perspectiva histórica, aparece en la figura 6.

Figura 6

Crecimiento del acervo de capital, histórico y el requerido según la SHCP y un escenario de crecimiento económico acelerado (en %)



Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de INEGI.

Históricamente hablando, el crecimiento del capital necesario para crecer según las metas de la presente administración, y según nues-

tra propuesta de crecimiento acelerado, es posible pero poco probable. Puesto en positivo, dependerá de las políticas económicas instrumentadas por la presente administración —de las dirigidas a la promoción de la inversión privada y las correspondientes al propio gasto en inversión del gobierno federal (y de los estados y municipios), de sus proyectos conjuntos, de las típicas recomendaciones de políticas anticíclicas y pro-crecimiento, así como las de corte heterodoxo— destinadas a modificar la relación capital-trabajo e incentivar la adaptación de las tecnologías ya disponibles, fundamentadas en una cooperación mucho más estrecha y explícita entre los agentes privados y públicos, teniendo en mente los beneficios sociales.⁴

Ciclo económico

El artículo 11 inciso C del Reglamento de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria establece que la tasa de crecimiento del PIB potencial debe calcularse como el promedio aritmético de la “tasa anual compuesta de crecimiento real del Producto Interno Bruto observado en al menos los 10 años previos a la fecha de la estimación”, y la “tasa anual compuesta de crecimiento real estimado del Producto

⁴ Entre otros ejemplos señalemos que la Fiat Chrysler produjo y distribuyó en el 2020 un millón de caretas mensualmente ([TechCrunch, 2020](#)). Y en el mismo texto se señala: “Other manufacturers such as GM, Ford, VW and Tesla have started to work on the complex task of producing ventilators, another critical piece of medical equipment for patients hospitalized with Covid-19”. La tecnología para producir automóviles se adaptó para producir bienes para enfrentar la pandemia. Asimismo, las mencionadas empresas modificaron su relación capital-trabajo para atender el *lock-down* y las medidas de distanciamiento social.

Interno Bruto de un máximo de 5 años posteriores a la fecha de estimación”.⁵ Adicionalmente se establece que “el nivel del Producto Interno Bruto Potencial de cada año se calculará aplicando la tasa anual de crecimiento a que se refiere el párrafo anterior, sobre la base de un año en el que la economía haya operado a su nivel potencial”.

Así, por ejemplo, en los Criterios Generales de su Política Económica la SHCP tomó las siguientes decisiones para estimar el nivel y la tasa de crecimiento del PIB potencial. Para el primer componente calculó la tasa de crecimiento media anual del PIB observado en volumen entre 2005 y 2017, y para el segundo componente simplemente propuso una tasa de crecimiento media anual entre 2018 y 2022. El promedio aritmético de ambas tasas, 2.3% y 2.5% respectivamente, ascendió a 2.4%, que representa la tasa de crecimiento del PIB potencial correspondiente al año 2019. Para estimar su nivel consideró que la economía mexicana funcionó bajo pleno empleo en el año 2003 y aplicó la tasa de 2.4%. Finalmente, comparando el PIB estimado para 2019 y el PIB potencial, determinó que la brecha del producto ascendería en 2019 a -0.83% .⁶

En el cuadro 1 replicamos los cálculos del PIB potencial según las instrucciones de los CGPE, esto es, utilizamos la tasa de crecimiento propuesta por la SHCP (2.4%) y el PIB en volumen reportado por el INEGI; asimismo, calculamos el ciclo económico, definido como la diferencia entre ambos niveles. La economía mexicana ha funcionado

⁵ Las leyes federales y sus reglamentos pueden encontrarse en el siguiente enlace <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>.

⁶ Heath (2012: 31-57) revisa algunas definiciones y ejercicios empíricos del ciclo económico y la brecha de producto para México.

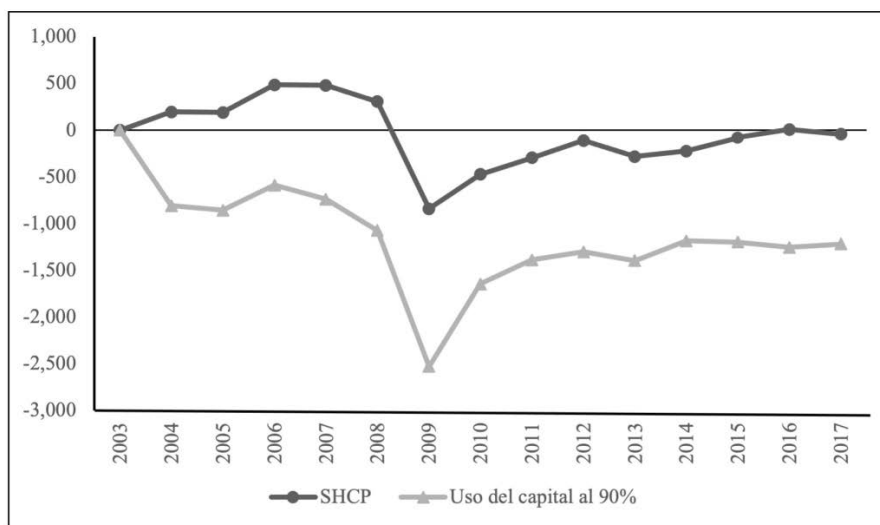
sistemáticamente por debajo de sus capacidades productivas de acuerdo a las encuestas y a este ejercicio de extracción del ciclo económico. Al respecto, destaquemos entonces el papel desafortunado de las políticas económicas implementadas por los distintos gobiernos, en plural. La siguiente gráfica muestra los ciclos económicos según la metodología señalada en la citada Ley, así como a su reglamento y al escenario propuesto en los CGPE, según nuestra la simulación ligada a un uso del capital de 90%.

Cuadro 1
Escenario propuesto en los CGPE

Año	PIB observado	PIB potencial	Ciclo económico
2003	13,061,719	13,061,719	0
2004	13,573,815	13,375,200	198,615
2005	13,887,073	13,696,205	190,868
2006	14,511,307	14,024,913	486,394
2007	14,843,826	14,361,511	482,315
2008	15,013,578	14,706,188	307,390
2009	14,219,998	15,059,136	-839,138
2010	14,947,795	15,420,555	-472,761
2011	15,495,334	15,790,649	-295,315
2012	16,059,724	16,169,624	-109,901
2013	16,277,187	16,557,695	-280,508
2014	16,733,655	16,955,080	-221,425
2015	17,283,856	17,362,002	-78,146
2016	17,786,911	17,778,690	8,221
2017	18,163,490	18,205,379	-41,889
2018	18,525,881	18,642,308	-116,427

Fuente: cálculos propios con base en la BIE del INEGI y los [CGPE \(2019\)](#).

Figura 7
Ciclos económicos según la SHCP y la simulación según
un grado de uso del acervo de capital de 90%
(en mmdp a precios de 2013)



Fuente: elaboración propia de acuerdo con datos de INEGI.

Antes de comentar el contenido de la figura 7, queremos subrayar que el PIB potencial y el ciclo económico constituyen variables no directamente observables en la medida que, por ejemplo, a diferencia del PIB en volumen cuya compilación se basa estrictamente en información originada en encuestas y censos, en el caso de su estimación se requiere, como hemos visto, la aplicación de otros métodos estadísticos y la introducción de supuestos teóricos y empíricos clave. A propósito, disponemos de distintas metodologías en la literatura teórica y en la práctica para hacerlo. Sólo por mencionar un ejemplo, la CBO (la *Congressional Budget Office*) de los Estados Unidos (2018: 3-4) explicita:

For the most part, CBO's estimate of potential output relies on a standard economic framework called the Solow growth model and on techniques based on Okun's law, named after the economist who first introduced the concept. . . CBO's approach to identifying underlying productive capacity is to focus on fundamental determinants of supply rather than on fluctuations in aggregate demand.

Por lo anterior, los resultados que observamos en la figura 7 no deben sorprendernos. En el ejercicio ligado a la SHCP se fijó una tasa de crecimiento del PIB potencial utilizando el valor observado histórico (2.3%) y una meta de apenas 0.2% superior (2.5%). Así entonces las decisiones tomadas por la SHCP consideran fuertemente las distintas inercias —de funcionamiento y de políticas aplicadas— que enfrenta la economía mexicana, mientras que en nuestra simulación forzamos un escenario alternativo. Destacadamente las dos señales se acompañan en el tiempo.

Reflexiones finales

Existe una genuina continuidad entre [Solow \(1956\)](#) y [Solow \(1957\)](#). El primero fundó la teoría moderna del crecimiento económico, y el segundo constituyó su extensión empírica ([1957: 312](#)):

The new wrinkle I want to describe is an elementary way of segregating variations in output per head due to technical change from those due to changes in the availability of capital per head.

A propósito, con su segundo esfuerzo Solow cumplió con los requisitos modernos más exigentes propuestos por Boumans (1999: 410), para la exposición completa de una teoría, a saber, “una fórmula de medición” y su relativa “estandarización”. Baste el proyecto KLEMS a escala mundial para justificar nuestra afirmación.

Como ya esbozamos, una rápida relectura evidencia que el mismo Solow (1957) era consciente de la complejidad de sus propuestas teóricas y metodológicas. Entre otros ejemplos el Nobel mencionó, como desafíos teóricos, las dudas sobre el significado preciso de la “cantidad de capital” y del “cambio técnico”; y la necesidad de un supuesto problemático (los factores se pagan de acuerdo con sus productos marginales). Y como desafíos empíricos Solow analizó, entre otros, la débil correspondencia entre la definición teórica y su contraparte empírica, el PNB; el insalvable problema de la agregación (p. 312, “As long as we insist on practicing macroeconomics we shall need aggregate relationships”); la insuficiente calidad de los datos; y la dificultad de aproximar una variable no observable, es decir, la capacidad ociosa del capital y su inverosímil solución (p. 314, “This is undoubtedly wrong, but probably gets closer to the truth than making no correction at all”).

Nuestros ejercicios de simulación basados en el análisis econométrico utilizando a KLEMS confirman que la economía mexicana dispone de las capacidades productivas suficientes para generar bienestar material a lo largo y ancho de su heterogénea sociedad. También sugirieron un efecto positivo que se obtendría de la implementación de políticas contra-cíclicas y pro-crecimiento digamos tradicionales, y otras, siguiendo a Solow (1987), basadas en la adaptación de las tecnologías y en la modificación de la ratio capital-trabajo. En breve, nues-

tros resultados sugieren que hay mucho espacio para la implementación de políticas creativas para enfrentar los acontecimientos mundiales y locales ligados a la pandemia, y a las propias inercias dañinas del capitalismo mexicano contemporáneo. Por otro lado, también hoy sabemos que la 4T ha preferido adoptar un paquete de políticas minimalista de corte ortodoxo, por lo menos en términos fiscales. Veamos.

En los [Criterios Generales \(2019\)](#), publicados a finales del 2018, la administración federal se fijó como meta de crecimiento económico un 2.57% media anual entre 2019 y 2024. La Encuesta publicada por el Banco de México el 3 de diciembre de 2018 registró una expectativa de crecimiento del 2.3% y el Fondo Monetario Internacional pronosticó un crecimiento económico para México del 2.8% el 9 de octubre de 2018. Por su parte, los Criterios Generales de Política Económica 2021 actualizaron como metas de crecimiento para 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 los siguientes valores, respectivamente: -8.0, 4.6, 2.6, 2.5 y 2.5%, lo que implica una tasa de crecimiento anual promedio de 0.74% en el mismo periodo. Cabe señalar que la modificación de las propias metas del gobierno federal debe entenderse como su estimación del impacto económicos de la pandemia y, lo reconozcan o no, de su propia respuesta de política y efectividad. Similarmente, la brecha entre las expectativas publicadas por el Banco de México y el pronóstico del FMI por un lado, y la actualización de los Criterios 2021, deben interpretarse en la misma dirección. En resumen, la pandemia y la respuesta de políticas costaría en el 2020 diez puntos del PIB en volumen, y poco menos de dos puntos en términos de crecimiento promedio anual a lo largo del sexenio. Unos dirán que sin las políticas instrumentadas los resultados habrían sido peores. Por nuestra parte recordamos que la economía mexicana dispone de recursos productivos ociosos por los

que, su puesta en marcha requiere solamente la aplicación de políticas. Dicho llanamente, la contracción económica se pudo evitar aplicando políticas macroeconómicas y microeconómicas diseñadas exprofeso.

La economía mexicana se desplomó en el 2020, como otras, pero también disponemos de contraejemplos, en China específicamente. Y las perspectivas sexenales pasaron de un modesto crecimiento de 2.5% a menos de un punto porcentual. Y repitamos, ¿los resultados económicos, considerando las opciones de política, podrían ser distintos? La perspectiva de Solow es un rotundo sí. Las capacidades productivas de una economía dependen de la función de producción agregada y de los incentivos generados por las políticas para adaptar las tecnologías disponibles y para modificar la relación capital-trabajo. Al respecto señalemos que el estado de las capacidades productivas de la economía mexicana es similar en el presente al observado antes de la pandemia. Adicionalmente, recordemos que las encuestas a las manufacturas señalan una permanente subutilización del capital. En ese sentido, la economía dispone de los recursos productivos para crecer robustamente. Sólo falta el estímulo que, podemos adelantar, no será interno sino externo, ligado al programa de Biden recientemente anunciado. Así podemos racionalizar la reciente promesa de crecimiento económico del 5% para el 2021 anunciada en una conferencia matutina por el presidente de México.

Enfrentamos entonces un problema de demanda interna y de restricción por el lado de la balanza de pagos. Baste recordar que, precisamente, la instrumentación de políticas anticíclicas convencionales sirve para atacar el problema de demanda interna, y el diseño e instrumentación de políticas no convencionales sirven para adaptar convenientemente las tecnologías disponibles y modificar la ratio capital-

trabajo, en vistas a cuidar el equilibrio de la cuenta corriente y el estado del mercado de trabajo, y aún como colateral incidir positivamente en la demanda interna. Pero la 4T ha evitado poner en la mesa de discusión pública el tema del financiamiento del gasto público y ha temido una depreciación del peso frente al dólar, limitando así su paquete de políticas.

Finalmente, otra restricción al crecimiento debe considerarse, a saber, la ligada a la biocapacidad planetaria y a la huella ecológica. México —como la mayoría de los países del mundo desde los años setenta del siglo pasado— acumula un déficit creciente ([Wackernagel et al., 2019](#)). Puesto con otras palabras, la trayectoria del nivel del PIB y el crecimiento del PIB per cápita ha generado un incremento del consumo de energía ([Wulf, 2020](#)). [Solow \(1987\)](#) nos recuerda que las tecnologías pueden adaptarse en un sentido favorable, económica y socialmente hablando. Claro está, se requiere un paquete de políticas a nivel microeconómico para incentivar al tejido productivo en la dirección correcta y la cooperación explícita entre los agentes privados y públicos, teniendo en mente los beneficios sociales. Si la 4T no ha instrumentado políticas convencionales, mucho menos ha mencionado el ejercicio de otras, de corte microeconómico con énfasis en lo ambiental. Afortunadamente existe evidencia empírica favorable al respecto. Baste señalar que, para nuestro país, con base en un análisis de series de tiempo moderno, [Valencia et al. \(2020: 750\)](#) concluyeron que México está “en condiciones de adoptar medidas de conservación de energía sin afectar el crecimiento económico”. Falta entonces sólo la voluntad política.

Referencias

- Banco de México (2018), Encuestas sobre las expectativas de los especialistas en economía del sector privado, publicada el 3 de diciembre.
- Boumans, M. (1999), Representation and stability in testing and measuring rational expectations, *Journal of Economic Methodology* 6(3): 381-402.
- Boumans, M. (2007), *Measurement in Economics: A Handbook*, Elsevier, Academic Press, Holanda.
- Durlauf, S. N.; Johnson, P. A. y Temple, J. R. W. (2005), Growth econometrics, en Aghion, P. H. y Durlauf, S. (ed.), *Handbook of economic growth*, 1, Elsevier, Holanda.
- Duvendack, M.; Palmer-Jones, R. W., y Reed, W. R. (2015), Replications in economics: A progress report, *Economic Journal Watch* 12(2): 164-191.
- European Environment Agency (2019), Europe's state of the environment 2020: Change of direction urgently needed to face climate change challenges, reverse degradation and ensure future prosperity, en línea.
- FMI (2018), *World Economic Outlook*, publicado el 9 de octubre.
- Guerrero, C. (2006), Thirlwall's law with an emphasis on the ratio of exports/imports income elasticities in Latin American economies during the Twentieth Century, *Estudios Económicos* 21(1): 23-44.
- Guerrero, C. (2009), Contribution of the information and communication technology sector to Mexican economic growth from 1999 to 2003, *EconoQuantum* 6(1): 11-30.
- Guerrero, C. (2013), A look at capital measurements in the U. S. and Mexican Economic Censuses, *Reality, Data and Space: International Journal of Statistics and Geography* 4(2): 40-51.
- Heath, J. (2012), *Lo que indican los indicadores*, INEGI, Aguascalientes, México.
- Hofman, A.; Mas, M.; Aravena, C. y Fernández, J. (2017), Crecimiento económico y productividad en Latinoamérica. El proyecto LA-KLEMS, *El Trimestre Económico* 84(2): 259-308.
- Hulten, C. R. (2001), Total factor productivity: A short biography, en Hulten, C. R.; Dean, E. R., y Harper, M. J. (ed.), *New developments in productivity analysis*, NBER-University of Chicago Press.

- Moreno-Brid, J. C. y Pérez, E. (2003), Liberalización comercial y crecimiento económico en Centroamérica, *Revista de la CEPAL* 81: 157-184.
- Morgan, M. (2001), Making measuring instruments, en Klein, J. L. y Morgan, M. M. (ed.), *The age of economic measurement*, Suplemento del volume 33 *History of Political Economy*, Duke University Press, Durham.
- OECD (2009), Measuring capital. OECD manual, 2a. edición, OECD Publishing.
- Sen, A. (1974), On some debates in capital theory, *Economica* 41(163): 328-335.
- SHCP (2018), Criterios generales de política económica para la iniciativa de la Ley de Ingresos y el Proyecto del Presupuesto de Egresos de la Federación correspondientes al ejercicio fiscal 2019, en línea.
- SHCP (2020a). Pre-criterios 2021, En línea.
- SHCP (2020b). Criterios generales de política económica para la iniciativa de la Ley de Ingresos y el Proyecto del Presupuesto de Egresos de la federación correspondientes al ejercicio fiscal 2021. En línea.
- Solow, R. M. (1956), A contribution to the theory of economic growth, *The Quarterly Journal of Economics* 70(1): 65-94.
- Solow, R. M. (1957), Technical change and the aggregate production function, *Review of Economics and Statistics* 39(3): 312-320.
- Solow, R. M. (1987), Prize Lecture, disponible en <https://cutt.ly/9mGTJir>.
- Solow, R. M. (1997), Is there a core of usable macroeconomics we should all believe in? *American Economic Review* 87(2): 230-232.
- Solow, R. M. (2001), After technical progress and the aggregate production function, en Hulten, C. R.; Dean, E. R., y Harper, M. J. (ed.).
- Solow, R. M. (2005), Reflections on growth theory, en Aghion, P. y Durlauf, S. (ed.), *Handbook of Economic Growth*, vol. 1A, Elsevier, Holanda.
- Solow, R. M. (2007), The last 50 years in growth theory and the next 10, *Oxford Review of Economic Policy* 23(1): 3-14.
- Solow, R. M. (2008), The state of macroeconomics, *Journal of Economic Perspectives*, 22(1): 243-246.
- TechCrunch (2020), Fiat Chrysler to start producing 1 million face masks a month, TechCrunch, en línea.
- Valencia, H.; Santillán, R. J. y Venegas, F. (2020), On the interaction among economic

- growth, energy-electricity consumption, CO₂ emissions, and urbanization in Latin America, *Revista Mexicana de Economía y Finanzas, Nueva Época* 15(4): 745-767.
- Wackernagel, M.; Beyers B. y Rout, K. (2019), *Ecological footprint: Managing our biocapacity budget*, Kindle edition.
- Wulf, E. (2020), Energy, growth and environment: Analysis from the microeconomics perspective, *Revista Mexicana de Economía y Finanzas, Nueva Época* 15(4): 621-645.

Anexo estadístico

Cuadro 1A
Algunas variables macroeconómicas
(en millones de pesos y a precios de 2013 y puestos de trabajo)

	PIB	VAB	VAN	Acervo de capital	Empleo secundario	Empleo total
2003	13,061,719	12,559,105	10,653,334	30,182,634	10,194,782	31,283,395
2004	13,573,815	13,050,687	11,074,791	30,964,385	10,651,885	32,207,707
2005	13,887,073	13,347,722	11,346,035	31,851,291	10,829,816	32,738,577
2006	14,511,307	13,931,384	11,858,641	32,919,672	11,339,357	33,828,495
2007	14,843,826	14,254,464	12,122,190	34,072,422	11,441,056	34,507,813
2008	15,013,578	14,402,757	12,174,195	35,335,225	11,749,757	35,028,593
2009	14,219,998	13,648,547	11,292,727	36,130,530	10,876,936	34,012,232
2010	14,947,795	14,352,401	11,989,240	37,019,254	10,923,788	34,530,797
2011	15,495,334	14,875,797	12,449,948	38,079,446	11,355,884	35,385,515
2012	16,059,724	15,430,993	12,883,754	39,212,622	11,595,913	36,361,019
2013	16,277,187	15,642,620	13,075,390	40,131,766	11,572,728	36,645,681
2014	16,733,655	16,060,630	13,456,727	41,072,945	11,764,756	37,043,221
2015	17,283,856	16,571,270	13,739,988	42,102,476	12,045,085	37,704,667
2016	17,786,911	17,022,745	13,994,689	43,077,791	12,170,534	38,366,506
2017	18,163,652	17,370,528	14,246,602	43,911,551	12,269,549	38,758,380

Fuente: cálculos propios con base en la BIE del INEGI y los [CGPE \(2019\)](#).

Cuadro 2A
Algunos ratios y variables macroeconómicas simuladas
(en millones de pesos a precios de 2013)

	En millones de pesos de 2013 por puesto de trabajo total			En millones de pesos de 2013	
	K total/ L	K usado/ L	VAN/L	PIB al 90%	Ciclo al 90%
2003	0.9648	0.7654	0.3405		
2004	0.9614	0.7843	0.3439	14,381,016	-807,201
2005	0.9729	0.7994	0.3466	14,742,016	-854,943
2006	0.9731	0.8118	0.3506	15,097,553	-586,246
2007	0.9874	0.7874	0.3513	15,580,863	-737,037
2008	1.0088	0.7961	0.3476	16,087,727	-1,074,149
2009	1.0623	0.8073	0.332	16,750,408	-2,530,410
2010	1.0721	0.838	0.3472	16,594,498	-1,646,703
2011	1.0761	0.8555	0.3518	16,884,903	-1,389,569
2012	1.0784	0.8663	0.3543	17,363,167	-1,303,443
2013	1.0951	0.8725	0.3568	17,674,762	-1,397,575
2014	1.1088	0.8851	0.3633	17,917,827	-1,184,172
2015	1.1166	0.8952	0.3644	18,480,191	-1,196,335
2016	1.1228	0.9058	0.3648	19,041,527	-1,254,616
2017	1.133	0.9205	0.3676	19,382,678	-1,219,026

Fuente: cálculos propios con base en datos del INEGI.

Autores

AGUIRRE HERNÁNDEZ, ELDA VANNESSA, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional.

ANGUIANO PITA, JAVIER EMMANUEL, Universidad de Guadalajara.

BERNAL PONCE, L. ARTURO, Escuela de Negocios, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

DOMÍNGUEZ REYNA, SERGIO, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

FONSECA RAMÍREZ, ALEJANDRO, EGADE, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

GONZÁLEZ SÁNCHEZ, RENATO FRANCISCO, Facultad de Economía, Universidad de Colima.

GUERRERO DE LIZARDI, CARLOS, Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México.

GUÍZAR MATEOS, ISAÍ, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Universidad de Guadalajara.

LARSSON, MARTIN J., Departamento de Antropología, Universidad de las Américas Puebla.

LÓPEZ SANDOVAL, IGNACIO MARCELINO, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

LOZANO DÍEZ, JOSÉ ANTONIO, Universidad Panamericana.

MARROQUÍN ARREOLA, JUAN, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional.

MARTÍNEZ GARCÍA, MIGUEL ÁNGEL, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional.

MENDOZA RIVERA, RICARDO J., Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional.

MUÑOZ MELÉNDEZ, GABRIELA, Departamento de Estudios Urbanos y Medio Ambiente, El Colegio de la Frontera Norte.

PÉREZ NAVARRO, RICARDO, Escuela de Negocios, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

REBOLLAR RUELAS LEONARDO, Facultad de Economía, Universidad de Colima.

RÍOS BOLÍVAR, HUMBERTO, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional.

RODRÍGUEZ MARÍN, MAURO, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

RUIZ PORRAS, ANTONIO, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Universidad de Guadalajara.

SALAZAR NÚÑEZ, HÉCTOR F., Universidad Cristóbal Colón.

SANTILLÁN SALGADO, ROBERTO J., EGADE, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

TÉLLEZ GAYTÁN, JESÚS CUAUHTÉMOC, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

TINOCO ZERMEÑO, MIGUEL ÁNGEL, Universidad de Colima.

TORRES PRECIADO, VÍCTOR HUGO, Universidad de Colima.

TREJO GARCÍA JOSÉ CARLOS, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional.

VENEGAS MARTÍNEZ, FRANCISCO, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional.

Los desafíos de la economía mexicana. Energía, política energética y crecimiento económico, coordinado por Miguel Ángel Tinoco Zermeño, Víctor Hugo Torres Preciado y Francisco Venegas Martínez, fue editado en la Dirección General de Publicaciones de la Universidad de Colima, avenida Universidad 333, Colima, Colima, México, www.ucol.mx. La edición digital se terminó en octubre de 2021. En la composición tipográfica se utilizó la familia CMU Serif. Programa Editorial: Daniel Lorenzo Peláez Carmona. Gestión Administrativa: Inés Sandoval Venegas. Diseño de portada: Lizeth Maricruz Vázquez Viera. Diseño de interiores: Miguel Ángel Tinoco Zermeño. Cuidado de la edición: Eréndira Cortés Ventura.

El libro *Desafíos de la economía mexicana. Energía, política energética y crecimiento económico* tiene el objetivo de evaluar el impacto del consumo y generación de energía, con las consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero, en la actividad económica de México. El libro se compone de dos partes, la primera aborda el tema de energía y crecimiento económico, y la segunda se enfoca en la política energética. El lector encontrará que los especialistas que participan en este libro usan métodos econométricos y análisis de vanguardia con base en los cuales ofrecen lecciones de política energética útiles para los tomadores de decisiones de nuestro país.



UNIVERSIDAD DE COLIMA