



ENERGÍAS RENOVABLES Y NO RENOVABLES EN MÉXICO: ANÁLISIS DEL EFECTO CONTAMINANTE Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO.

Diana Xóchitl González-Gómez¹

Enlace Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3062-9961>

Abril Zacarías-López²

Enlace Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9447-6397>

Jozelin María Soto-Alarcón³

Enlace Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3931-9310>

Fecha de Recepción: 15 de septiembre 2022

Fecha de Aprobación: 18 de Diciembre 2022

Resumen:

Las energías limpias reducen los gases de efecto invernadero, aunque el consumo energético tanto de renovables como no renovables pueden fomentar el crecimiento de las economías. El objetivo del artículo es analizar el consumo de las energías desde el enfoque teórico del crecimiento económico y del efecto contaminante, mediante la técnica de cointegración de Johansen para determinar las posibles relaciones de largo plazo entre las variables durante el periodo de 1980 a 2018 en México. Con los resultados se comprueba que las energías renovables tienen un mayor efecto en el crecimiento económico y que reducen la contaminación.

Palabras clave: combustibles fósiles, crecimiento económico, emisiones, energía renovable, México

¹ Profesora investigadora en el Área Académica de Economía de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, dianax@uaeh.edu.mx. Autor de correspondencia.

² Egresada de la Licenciatura en Economía de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, za314502@uaeh.edu.mx

³ Profesora investigadora en el Área Académica de Economía de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, jmsoto@uaeh.edu.mx

RENEWABLE AND NON-RENEWABLE ENERGY IN MEXICO: ANALYSIS OF THE POLLUTING EFFECT AND ECONOMIC GROWTH

Abstract

Clean energy reduces greenhouse gases, although energy consumption from both renewable and non-renewable sources can promote economic growth. The objective of the article is to analyze the consumption of energies from the theoretical approach of economic growth and the polluting effect, using the cointegration technique of Johansen to determine the possible long-term relationships between the variables from 1980 to 2018 in Mexico. The results show that renewable energies have a more significant effect on economic growth and reduce pollution.

Keywords: fossil fuels, economic growth, emissions, renewable energy, Mexico

ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS NO MÉXICO: ANÁLISE DO EFEITO POLUENTE E DO CRESCIMENTO ECONÓMICO

Resumo

As energias limpas reduzem os gases com efeito de estufa, embora o consumo de energia, tanto de energias renováveis como não renováveis, possa promover o crescimento das economias. O objectivo do artigo é analisar o consumo de energia a partir da abordagem teórica do crescimento económico e do efeito poluente, Utilizando a técnica de cointegração de Johansen para determinar as possíveis relações de longo prazo entre as variáveis durante o período de 1980 a 2018 no México. Os resultados mostram que as energias renováveis têm um maior impacto no crescimento económico e na redução da poluição.

Palavras-chave: combustíveis fósseis, crescimento econômico, emissões, energia renovável, México

1. INTRODUCCIÓN:

El cambio climático es el mayor desafío en la actualidad (ONU, 2020). El dióxido de carbono (gas de efecto invernadero) contribuye en gran medida a este problema ambiental como resultado de la quema de combustibles fósiles. Uno de los esfuerzos mundiales para combatir el cambio climático constituye intensificar las acciones e inversiones hacia un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono (Acuerdo de París 2015) (ONU, 2020).

Esta tendencia global hacia las energías renovables, ha conducido el despliegue de proyectos de infraestructura, de gran escala, que requieren muchos años para su desarrollo y construcción, involucran múltiples actores públicos y privados, son transformadores e impactan a millones de personas (Flyvbjerg, 2017, citado en Domínguez, 2011). Aunque también hay proyectos nuevos en ejecución y en operación con hidrocarburos (Proyectos México, 2021). Este escenario ilustra una disyuntiva para nuestro país.

Las energías renovables juegan un papel importante en la oferta energética de países europeos y en Latinoamérica. México, aun cuando posee el potencial para generar energía a través de fuentes renovables, debido a que cuenta con altos niveles de insolación, recursos hídricos para instalar plantas minihidráulicas, vapor y agua para el desarrollo de campos geotérmicos, zonas con intensos y constantes vientos, grandes volúmenes de esquilmos agrícolas e importantes cantidades de desperdicios orgánicos en las ciudades y el campo (SEMARNAT, 2018), ha orientado su política energética hacia el fomento de la producción de energías no renovables.

Distintos enfoques teóricos y conceptuales analizan los impactos de los proyectos de infraestructura en países poco desarrollados: a) la perspectiva de los derechos humanos y el desplazamiento forzado; b) los conflictos ambientales; c) estudio de las estrategias, recursos, discursos e identidades construidas por movimientos sociales; d) la perspectiva del crecimiento económico,

e) desarrollo regional, f) los procesos de política pública, entre otros (Domínguez, 2011).

En esta investigación se utiliza el enfoque del crecimiento económico y el de las repercusiones ambientales, con el objetivo de indagar tanto los efectos del uso de las energías renovables y no renovables en el crecimiento económico de México, como identificar el efecto contaminante, mediante un estudio de series de tiempo de 1980 a 2018. Existe evidencia empírica en países europeos donde prevalecen efectos positivos en el crecimiento y desarrollo económico a causa de las energías renovables y no renovables, así como una reducción/aumento en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por el uso de energías renovables/no renovables (Caraballo y García, 2017). En México, no se cuenta con un estudio que utilice los datos más recientes donde separe los efectos de estas energías en dos variables: crecimiento y contaminación. La principal contribución de este trabajo es que distingue el efecto de crecimiento con el producto interno bruto per cápita total y el producto interno bruto per cápita de los sectores económicos, con información oficial en un amplio periodo de tiempo.

El trabajo está integrado en seis secciones. La primera sección es la introducción. La segunda corresponde al marco teórico y referencial. La tercera muestra la situación energética mundial y nacional. La metodología se describe en la cuarta sección. En la quinta sección se presentan los resultados y la discusión. Finalmente se muestran las conclusiones..

2. MARCO REFERENCIAL:

Crecimiento económico y efecto contaminante

El crecimiento económico se define como el aumento de la cantidad de trabajo y el valor de bienes y servicios producidos por una economía dentro de un periodo de tiempo concreto, generalmente se mide como el porcentaje del aumento del producto interno bruto real (PIB), correlacionado estadísticamente con el bienestar socioeconómico de un país (Larraín y Sachs,

2002). Mientras que el desarrollo se entiende como una condición social dentro de un país, donde las necesidades auténticas de su población se satisfacen con el uso racional y sostenible de recursos y sistemas naturales (Reyes, 2001).

En las teorías de crecimiento económico se consideran dos modelos fundamentales de crecimiento: exógeno y endógeno. Los modelos de crecimiento exógeno se refieren a modelos económicos que atribuyen como determinantes del crecimiento a la tasa de ahorro, a la fuerza laboral, al capital, al nivel de depreciación y al progreso tecnológico (Zamarripa, 2016). Estas variables tienen la función de explicar el origen del crecimiento económico o la manera en que se sostiene un modelo. Aunque no consideran los diferentes grados de crecimiento que experimenta un país con el paso del tiempo, sus supuestos sirven de apoyo en investigaciones actuales, pues la principal conclusión de estos modelos es que las economías convergen en un punto de crecimiento nulo, distinguiendo entre países desarrollados y subdesarrollados. Un ejemplo es la teoría del crecimiento de Solow, donde siempre que se postule una función de producción tipo Cobb–Douglas, la tasa de crecimiento que garantiza el pleno empleo será estable (Velázquez, 2013). Este resultado ignora el problema original planteado por Harrod y Domar, que presenta insuficiencias de demanda efectiva, desempleo, exceso de demanda efectiva e inflación.

El crecimiento endógeno puede explicar el crecimiento del producto total utilizando variables dentro de su sistema, en lugar de concluir que sólo un progreso tecnológico generará crecimiento. Donayre et al. (2020) describen el modelo AK como un tipo de crecimiento endógeno. Se caracteriza principalmente porque la tasa de crecimiento del capital depende positivamente de la tasa de ahorro y del nivel de tecnología, y negativamente de la tasa de crecimiento de la población y de la depreciación; de modo que, si aumenta el ahorro y la tecnología, disminuye el ritmo de crecimiento de la población y aumenta el capital de forma que sea mayor a los ritmos de depreciación de este, propiciando condiciones favorables para el crecimiento económico a largo plazo. El modelo es

sostenible y puede explicar el crecimiento económico por sí solo, a diferencia de los modelos neoclásicos.

En el desarrollo económico está la teoría de la dependencia de recursos (Vargas-Hernández, 2008), donde la escasez implica cambios en los procesos. Las organizaciones que enfrentan escasez de recursos buscan una mayor competitividad para adquirirlos o bien, innovar, con la finalidad de usar recursos alternativos. Se aborda la teoría de la globalización que enfatiza las transacciones económicas y sus vínculos políticos y financieros realizados con la complicidad del desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación, desde una perspectiva de los elementos culturales. Sin embargo, existen datos que corroboran que América Latina se encontraba mejor antes de la imposición del modelo de desarrollo económico neoliberal y de aplicación forzosa de la globalización (Vargas-Hernández, 2008).

En la teoría neo institucional, las instituciones políticas son el sustento del desarrollo económico y social (North, 1998). La evolución de las estructuras de gobernabilidad de las instituciones políticas y económicas generan ambientes que contribuyen al aumento de la productividad y el crecimiento económico. Dada la importancia de las instituciones, el subdesarrollo es resultado de las fallas del Estado para proveer las estructuras de gobierno que garanticen instituciones que aseguren el desarrollo de los pueblos.

Finalmente, señalamos los elementos teóricos del crecimiento que se relacionan con el consumo de energía y la contaminación. Las consideraciones climáticas inciden en la política energética de los países en dos sentidos: el consumo de energía siempre que emita carbono y las diversas fuentes de energía con distintas emisiones de carbono (Tietenberg y Lewis, 2009).

Resultados De Estudios Empíricos

Los trabajos empíricos muestran distintos resultados entre el crecimiento económico y el uso de energía bajo diferentes métodos de estimación, observaciones y periodos de estudio (Salazar-Núñez y Venegas-Martínez, 2018). En Colombia, Indonesia, Vietnam, Egipto, Turquía y Sudáfrica (CIVETS) existe una relación de causalidad del PIB a las

emisiones de CO₂, y del consumo de energía a las emisiones de CO₂, lo cual implica que en el largo plazo el crecimiento económico es un determinante del cambio climático a través de las emisiones de CO₂ (Campo y Olivares, 2013). Mediante una Curva de Kuznets Ambiental muestran que cuando el crecimiento económico incrementa el nivel de emisiones de CO₂, este aumento se estabiliza para después presentar una reducción de las emisiones, por lo que los países se vuelven más eficientes en la producción, con mejores procesos productivos y cada vez menos contaminantes.

En el caso de los países de la OCDE, hay una causalidad bidireccional, en el sentido de Granger, entre el crecimiento económico y el consumo de energía, y la energía no renovable (Loaiza, 2018). En Ecuador, existe una relación de cointegración de largo y corto plazo entre la energía sustentable y no sustentable y el crecimiento económico, y una relación causal de energía sustentable a crecimiento económico. Las energías sustentables en Ecuador contribuyen positivamente a su crecimiento económico, con bajos costos comparados con los de combustibles fósiles y no contaminan. Las emisiones de CO₂ como resultado de la combustión fósil, es preocupante, por ello, Loaiza (2018) sostiene que un modelo económico sustentable con el ambiente es prioritario.

La relación entre el uso de energía y la formación bruta de capital con el crecimiento del PIB, es estudiada por Salazar-Núñez y Venegas-Martínez (2018) para una muestra de 73 países, agrupados según su nivel de ingreso. Tanto a corto como a largo plazo, el crecimiento del PIB es explicado por las otras dos variables, excepto para el grupo de países con ingreso medio-alto. México es de ingreso medio-alto según el Banco Mundial. Sin embargo, Gómez (2011) encuentra una relación positiva entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de CO₂, esto se explica principalmente por los incrementos de energía en los sectores industrial, residencial y transporte. Estos hallazgos dan pautas para la política energética en cada país.

Alarco (2006) realiza proyecciones de las emisiones de CO₂ por la combustión de energéticos y simula cómo las políticas implementadas en ese momento no serán suficientes para reducir las emisiones y alcanzar las metas internacionales. Las emisiones de CO₂ no pueden disminuir en la forma esperada siempre que la tasa de crecimiento económico no se reduzca, ciertamente esta premisa no es deseable. “El problema de cómo el mercado toma decisiones energéticas es que, a falta de una regulación explícita, las emisiones

de carbono generalmente implican una externalidad para el consumidor de la energía” (Tietenberg y Lewis, 2009, pp. 168)

En conclusión, hay una relación entre crecimiento, uso de energía y emisiones contaminantes en cualquier economía (Gómez, 2011, p. 67). En la literatura se encuentran resultados que van en sentido bidireccional entre crecimiento económico y consumo de energía, así como unidireccional, el crecimiento del PIB causa, en sentido de Granger, al consumo de energía, o bien, consumo de energía hacia crecimiento económico. Para el caso de México la relación va de crecimiento económico a emisiones contaminantes (Gómez, 2011).

Panorama mundial

Producción total de energía

Durante el 2018 en el mundo se produjeron alrededor de 14,505 mega toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe), que conformaron el mayor crecimiento histórico con respecto al 2017 (TCA: tasa de crecimiento anual del 3.4%) (véase Tabla 1). China y Estados Unidos son los mayores productores a nivel mundial y su contribución conjunta es del 64% con respecto al crecimiento global. Sin embargo, la tasa de crecimiento disminuye para 2019 (de 3.4 a 1.5%). México contribuye únicamente con el 1% de la producción total global y presenta una tasa de crecimiento anual decreciente a partir del año 2012.

Tabla 1: Producción total de energía (Mtoe)

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mundial	12,771	13,098	13,276	13,465	13,682	13,777	13,720	14,027	14,505	14,715
TCA	-	2.6%	1.4%	1.4%	1.7%	0.6%	-0.4%	2.2%	3.4%	1.5%
China	2,236	2,386	2,401	2,467	2,507	2,516	2,364	2,454	2,570	2,684
Estados Unidos	1,725	1,787	1,821	1,879	2,016	2,028	1,921	1,998	2,176	2,303
México	223	224	219	216	209	190	180	165	154	147
TCA	-	0.5%	-2.3%	-1.0%	-3.6%	-9.1%	-4.8%	-8.6%	-6.5%	-4.9%
Participación a nivel mundial	1.7%	1.7%	1.6%	1.6%	1.5%	1.4%	1.3%	1.2%	1.1%	1.0%

Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario estadístico mundial de energía (Enerdata).

Consumo total de energía

En 2019 el consumo global de energía presentó un crecimiento lento (0.6%) en comparación a los años anteriores (véase Tabla 2). China se ha posicionado como el mayor consumidor de energía en el mundo a partir del 2009; registró su mayor crecimiento en el año 2011 respecto al 2010 (7.3%). Mientras que Estados Unidos tuvo su consumo máximo en el año 2018, con una tasa de crecimiento de 3.5% respecto al 2017. México consume el 1.2% de la energía total mundial y la tasa de crecimiento es decreciente a partir de 2012, incluso se vuelve negativa desde 2014.

Tabla 2. Consumo total de energía (Mtoe)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mundial	12,843	13,045	13,246	13,416	13,595	13,637	13,720	13,970	14,287	14,378
TCA	-	1.5%	1.6%	1.3%	1.3%	0.3%	0.6%	1.8%	2.3%	0.6%
China	2,536	2,723	2,821	2,912	2,966	2,994	2,977	3,069	3,183	3,284
Estados Unidos	2,217	2,191	2,152	2,190	2,216	2,193	2,169	2,161	2,235	2,213
México	179	187	192	192	188	185	185	180	180	178
TCA	-	4.7%	2.6%	0.2%	-1.9%	-1.9%	0.0%	-2.6%	-0.1%	-1.3%
Participación a nivel mundial	1.4%	1.4%	1.4%	1.4%	1.4%	1.4%	1.3%	1.3%	1.3%	1.2%

Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario estadístico mundial de energía (Enerdata)..

Producción total de electricidad

En 2018 se produjo un total de 26,650 TWh con una tasa de crecimiento anual (TCA) de 3.6% con respecto al año anterior; sin embargo, en 2019 la producción creció a un ritmo mucho más lento (1%) (véase Tabla 3). China es el país que más contribuye en la generación mundial de electricidad, mientras que Estados Unidos mostró una disminución en su producción de poco más del 1%, respecto al 2018. México presenta una tasa de crecimiento de 4.2% en 2019 y mantuvo su participación a nivel global (1.3%) en promedio.

Tabla 3. Producción total de electricidad (TWh)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mundial	21,589	22,300	22,800	23,480	23,922	24,381	25,077	25,719	26,650	26,913
TCA	-	3.3%	2.2%	3.0%	1.9%	1.9%	2.9%	2.6%	3.6%	1.0%
China	4,208	4,716	4,994	5,447	5,679	5,860	6,218	6,635	7,146	7,482
Estados Unidos	4,378	4,349	4,291	4,306	4,340	4,317	4,322	4,286	4,439	4,385
México	276	303	307	297	301	311	321	322	332	346
TCA	-	9.9%	1.5%	-3.2%	1.4%	3.1%	3.2%	0.5%	3.1%	4.2%
Participación a nivel mundial	1.3%	1.4%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.2%	1.3%

Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario estadístico mundial de energía (Enerdata).

Consumo total de electricidad

El consumo doméstico total de electricidad creció en cada periodo, aunque de 2018 a 2019 a una tasa de crecimiento anual (TCA) decreciente (de 3.5 a 0.7%) (véase Tabla 4). China y Estados Unidos consumen en 2019 casi el 50% de la electricidad total mundial. México consume el 1.3% (misma cifra que en la producción global) de la electricidad total mundial y su tasa de crecimiento presentó una disminución de 2018 a 2019 (de 7 a 4.1%).

Tabla 4. Consumo doméstico total de electricidad (TWh)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mundial	18,588	19,181	19,634	20,236	20,615	20,942	21,586	22,171	22,948	23,104
TCA	-	3.2%	2.4%	3.1%	1.9%	1.6%	3.1%	2.7%	3.5%	0.7%
China	3,626	4,052	4,326	4,718	4,939	5,103	5,407	5,784	6,230	6,510
Estados Unidos	3,894	3,885	3,831	3,873	3,895	3,895	3,916	3,869	3,953	3,865
México	221	239	253	247	257	262	274	276	295	307
TCA	-	8.1%	5.9%	-2.6%	4.2%	2.0%	4.7%	0.6%	7.0%	4.1%
Participación a nivel mundial	1.2%	1.2%	1.3%	1.2%	1.2%	1.3%	1.3%	1.2%	1.3%	1.3%

Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario estadístico mundial de energía (Enerdata).

Participación de las energías renovables en la producción de electricidad

La producción mundial de electricidad a base de energías renovables aumentó en 1.1 puntos porcentuales de 2018 a 2019 (véase Tabla 5). Noruega, Brasil y Nueva Zelanda son ejemplos de países con un alto porcentaje en el uso de energías renovables para producir electricidad, desde el año 2010 hasta el último año disponible (97.62, 82.31 y 81.88% en 2019, respectivamente). Por el contrario, China y Estados Unidos registran porcentajes menores en este rubro (26.98 y 17.88% en 2019, respectivamente), aunque la tendencia en el uso de renovables es creciente en el periodo analizado. En el caso mexicano la tendencia no es muy clara, de 2010 a 2013 se observa una disminución de 3.3 puntos porcentuales, de 2013 a 2014 un incremento de 4.24 puntos porcentuales. Finalmente, de 2018 a 2019 se muestra un crecimiento de 1.27 puntos porcentuales. En este último año apenas el 17.54% de la producción de electricidad en México es a base de energías renovables, cifra que se encuentra por debajo del porcentaje a nivel mundial (26.62%).

Tabla 5. Porcentaje de la producción de electricidad con energías renovables

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mundial	19.87	20.21	21.16	21.95	22.56	23.07	24.09	24.82	25.54	26.62
China	18.83	16.95	20.12	20.45	22.79	24.13	25.26	25.55	25.92	26.98
Estados Unidos	10.61	12.69	12.41	13.03	13.38	13.63	15.26	17.29	17.36	17.88
Noruega	95.75	96.58	97.98	97.69	97.67	97.70	97.81	97.81	97.70	97.62
Brasil	84.72	87.12	82.45	76.69	73.08	73.97	80.36	79.13	82.28	82.31
Nueva Zelanda	73.30	76.18	71.85	74.26	79.21	80.12	84.26	81.18	83.43	81.88
México	16.60	14.89	13.79	13.30	17.54	15.28	15.33	15.99	16.27	17.54

Fuente: Elaboración propia con datos Enerdata (2021).

El agotamiento de los recursos ha obligado a buscar una mayor eficiencia en la producción y en el uso de la energía, y a desarrollar el potencial del uso de fuentes de energía no fósiles (SENER, 2012, 2018). Hasta 2014, México contaba con una capacidad efectiva

instalada para la generación de energía eléctrica de 65,452 MW, de los cuales 16,047 MW provinieron de fuentes renovables de energía (eólica, solar, hidráulica, geotérmica y de biomasa), lo que representa el 24.5% del total de la capacidad instalada. A nivel nacional, la Ley de Transición Energética (LTE) (Decreto, 2015) estableció como objetivo una participación mínima de energías limpias en la generación eléctrica del 30 % para 2021 y del 35 % para 2024 (ICEX, 2020).

La política energética actual busca modernizar y fortalecer a Petróleos Mexicanos (Pemex) y a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) como empresas productivas del Estado, 100% públicas y mexicanas; reducir la exposición del país a los riesgos financieros, geológicos y ambientales en las actividades de exploración y extracción de petróleo y gas natural; y permitir que la Nación ejerza, de manera exclusiva, la planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional, entre otras, según lo decretado por la Secretaría de Energía (Aviso, 2021). Dejando al margen el uso de energías renovables al implementar un contrato de cobertura eléctrica con compromiso de entrega física, que incluye la compraventa de energía en una hora o fecha futura determinada (Aviso, 2021). Como las tecnologías implementadas en las energías eólica y solar, son principalmente del sector privado en México, un generador con este tipo de tecnologías no tendría acceso a algún contrato, por lo que no hay una clara compatibilidad de la reforma con el impulso a las energías limpias.

3. METODOLOGIA:

En esta investigación se realiza un estudio de series de tiempo mediante la técnica de cointegración de Johansen. Las variables que se utilizan se dividen en tres grupos: las de crecimiento económico, la del efecto contaminante y las del consumo de energías. En el primer grupo están: el producto interno bruto per cápita (PIBpc), el producto interno bruto per cápita del sector primario (PIB1pc), el producto interno bruto per cápita del sector secundario (PIB2pc) y el producto interno bruto per cápita del sector terciario (PIB3pc). En el segundo grupo: las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). En el último: el consumo de petróleo y otros líquidos como proxy del consumo de energías no

renovables (CENR) y el consumo de renovables y otros como proxy del consumo de energías renovables (CER). Todas las variables se toman en logaritmo natural. Las variables de producción se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La fuente de información de las demás series es U.S. Energy Information Administration (EIA). La temporalidad de los datos es anual durante el periodo de 1980 a 2018.

Técnica de cointegración

Con la técnica de cointegración se busca una combinación lineal de las variables de estudio que sea estacionaria, si es el caso, entonces se puede afirmar que las variables dependientes e independientes están cointegradas. Es decir, esta técnica tiene como propósito hallar las posibles relaciones de equilibrio de largo plazo entre el grupo de variables de producción y las de consumo de energías, y entre el efecto contaminante y el consumo de energías. De acuerdo con Johansen (1988) se derivan los estimadores de máxima verosimilitud de los vectores de cointegración para un proceso autorregresivo con errores independientes, con el objetivo de identificar el rango de la matriz, además del eigenvalue máximo y el estadístico de la traza.

Para llevar a cabo el ejercicio de cointegración se realiza el siguiente procedimiento: a) aplicar las pruebas de raíz unitaria a las variables para determinar el orden de integración, b) estimar el vector autorregresivo (VAR), c) determinar el número de rezagos, d) precisar las relaciones de cointegración mediante la prueba de la traza y del eigenvalue máximo, y e) estimar el posible (o posibles) vector (es) de cointegración.

Se aplican tres pruebas de raíz unitaria: Dickey-Fuller Aumentada (ADF) (Dickey y Fuller, 1981); Kwiatkowski, Phillips, Schmidt y Schin (KPSS) (Kwiatkowski et al., 1992), y Phillips-Perron (PP) (Phillips y Perron, 1981). Dickey y Fuller (1979) construyen la prueba de estacionariedad ADF, asumen un modelo autorregresivo (ecuación 1), donde el término e_t es una secuencia de variables aleatorias

independientes con media cero y varianza constante σ^2 , es decir, $e_t \text{ iid } (0, \sigma^2)$. Si el valor absoluto de ρ es igual a uno, la serie no es estacionaria y la varianza de Y_t es $t\sigma^2$, en este caso se dice que la serie es una caminata aleatoria (Dickey y Fuller, 1979), que puede ser transformada en diferencias.

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + e_t \quad (1)$$

Kwiatkowski et al. (1992) derivan la prueba de raíz unitaria basada en una versión modificada del estadístico LM para utilizar el estadístico LBI (locally best invariant). Descompone la serie en tres elementos: la tendencia determinística, la caminata aleatoria y el error estacionario (ecuación 2), donde r_t es una caminata aleatoria (ecuación 3), al igual que Dickey y Fuller (1979) los errores $u_t \sim \text{iid } (0, \sigma^2)$. Se asume que el valor del intercepto es fijo y la varianza del error es cero y, una vez que se ha considerado a ε_t como un error estacionario, la hipótesis nula de la serie Y_t es que tiene tendencia estacionaria, mientras que la hipótesis alterna es que la serie tiene raíz unitaria.

$$Y_t = \delta_t + r_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$r_t = r_{t-1} + u_t \quad (3)$$

El test de Phillips-Perron (PP) (Phillips y Perron, 1988) es una extensión del trabajo previo de Phillips (1987). La prueba considera los casos que incluyen deriva y deriva con tendencia lineal en la especificación. Esta es una de las ventajas de la prueba PP, ya que en muchos casos de las series temporales en economía se presentan tales situaciones. Se prueba la existencia de raíz unitaria en una serie de tiempo contra la estacionariedad..

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas de raíz unitaria se estiman con una estructura de tendencia y constante para las series en nivel y con constante para las series en primeras diferencias. Las series tienen raíz unitaria al 95% de confianza, al menos en dos pruebas. Las pruebas de estacionariedad en primeras diferencias se cumplen al 90% de confianza (véase Tabla 6). Se decide incluir a

todas las variables en el análisis de largo plazo y se definen cinco modelos. CER y CENR están en cada modelo y la variable dependiente es la que se va modificando: CO₂, PIBpc, PIB1pc, PIB2pc, PIB3pc.

Tabla 6. Pruebas de raíz unitaria a las series temporales

Serie	ADF		PP		KPSS	ADF en	PP en	KPSS en
	primeras		primeras		primeras	primeras	primeras	primeras
	Estadístico de la prueba	p-value Z(t)	Estadístico de la prueba	p-value Z(t)	Estadístico de la prueba			
CENR	-0.421	0.986	-1.939	0.634	0.2638*	-3.521***	-7.903*	0.448***
CER	-1.930	0.638	-5.404*	0.000	0.1481**	-3.306**	-12.332*	0.486**
CO ₂	-2.026	0.587	-1.199	0.910	0.2477*	-3.186**	-7.324*	0.475**
PIBpc	-1.512	0.825	-4.342*	0.002	0.1763**	-2.729***	-13.195*	0.1534
PIB1pc	-1.492	0.831	-2.533	0.302	0.1612**	-3.116**	-8.108*	0.1051
PIB2pc	-3.093	0.108	-2.376	0.392	0.0866	-2.956***	-5.730*	0.0821
PIB3pc	-2.366	0.397	-2.565	0.296	0.101	-2.959***	-6.929*	0.0685

Fuente: Elaboración propia

ADF: *, **, *** se rechaza la hipótesis nula al 1, 5 y 10% de significancia, con valores críticos: -4.288, -3.560, -3.216, respectivamente.

ADF primeras diferencias: *, **, *** se rechaza la hipótesis nula al 1, 5 y 10% de significancia, con valores críticos: -4.260, -3.548, -3.209.

PP: *, **, *** se rechaza la hipótesis nula al 1, 5 y 10% de significancia, con valores críticos: -3.689, -2.975, -2.619, respectivamente.

PP primeras diferencias: *, **, *** se rechaza la hipótesis nula al 1, 5 y 10% de significancia, con valores críticos: -3.668, -2.966, -2.616.

KPSS: *, **, *** se rechaza la hipótesis nula al 1, 5 y 10% de significancia, con valores críticos: 0.216, 0.146, 0.119, respectivamente.

KPSS primeras diferencias: *, **, *** se rechaza la hipótesis nula al 1, 5 y 10% de significancia, con valores críticos: 0.739, 0.463, 0.347.

Se estiman cinco VAR no restringidos bajo el criterio Akaike information criterion (AIC). Para definir si

existen relaciones de cointegración con la prueba de la traza o con el eigenvalue máximo, o ambos, se establece la especificación adecuada al modelo. La hipótesis nula es que no hay ecuación de cointegración y las siguientes hipótesis es que hay: i) a lo sumo una, o ii) a lo sumo dos. El objetivo es rechazar la hipótesis nula de ausencia de cointegración, es decir, encontrar, a lo sumo, una relación de largo plazo entre las variables del modelo.

En el primer modelo: CO₂ CER CENR, hay una relación de cointegración con la prueba de la traza y con el eigenvalue máximo. En el segundo: PIBpc CER CENR una ecuación de cointegración con el estadístico de la traza. En el tercero (PIB1pc CER CENR) no se encontró alguna relación de largo plazo, por lo que no se incluyen los resultados en la tabla 7. En el cuarto y quinto modelo: PIB2pc CER CENR y PIB3pc CER CENR, respectivamente, se encuentra una ecuación de cointegración con la prueba de la traza (véase Tabla 7).

Tabla 7. Pruebas de cointegración

Modelo	Especificación	Traza		Eigenvalue máximo	
		EC=1	Valor crítico al 5%	EC=1	Valor crítico al 5%
CO ₂ CER CENR	C,T	23.916*	25.872	15.532*	19.387
PIBpc CER CENR	C	15.802*	20.261	-	-
PIB2pc CER CENR	C	5.528*	9.164	-	-
PIB3pc CER CENR	C	11.081*	12.320	-	-

Fuente: Elaboración propia

C=constante, T=tendencia. EC=ecuación de cointegración.

Con los resultados de las pruebas y los coeficientes normalizados se establece el vector de cointegración en cada modelo. En el primer caso, el modelo se estima con tendencia. En los tres casos siguientes, sin tendencia y con constante. Entre paréntesis está la desviación estándar.

$$CO_2 = -0.3243CER + 1.2126CENR + 0.0166t \quad (4)$$

(0.0808) (0.1345) (0.0015)

$$PIB_{pc} = 9.7507 + 1.3686CER + 1.1050CENR \quad (5)$$

(2.6439) (0.3037) (0.5016)

$$PIB2_{pc} = -8.2708 + 1.3113CER + 1.5173CENR \quad (6)$$

(5.9771) (0.7208) (1.1469)

$$PIB3_{pc} = -0.8003 + 1.2288CER + 0.7079CENR \quad (7)$$

(3.4569) (0.4109) (0.6624)

En la ecuación 4 se observa que no hay efecto contaminante si se consumen energías renovables (CER), es decir, las emisiones contaminantes (CO₂) disminuyen a medida que se incrementa CER. Sin embargo, sí hay efecto contaminante con el consumo de energías no renovables (CENR). La variable de tendencia también muestra un incremento en CO₂. Todos los coeficientes son estadísticamente significativos y, en términos absolutos, el efecto de CENR es mayor que el de CER, lo que indica que el efecto contaminante de las no renovables es mayor que el efecto no contaminante de las renovables.

La ecuación 5 indica que el consumo de energía tiene un impacto positivo en el crecimiento económico, donde el consumo de energía renovable tiene un efecto mayor que el del consumo de energía no renovable. Los coeficientes son significativos y tienen el signo esperado. En el análisis por sector de actividad (ecuación 6) se muestra un efecto de crecimiento en el sector secundario, si el consumo de energía se incrementa. En este caso el efecto es mayor si se consumen energías no renovables, aunque este coeficiente no es significativo al 95% de confianza. En el sector terciario, el consumo de energía conduce a mayores tasas de crecimiento (ecuación 7); el efecto de crecimiento es mayor con las energías renovables y el parámetro de CENR no es significativo en términos estadísticos. Por último, se inició la técnica de la causalidad según Granger a las variables en sus primeras diferencias, sin embargo, con la determinación del número óptimo de rezagos, ya no fue posible continuar con la prueba.

5. CONCLUSIONES:

Actualmente el uso de energías renovables es una tendencia mundial, como estrategia para combatir el cambio climático en el largo plazo. Pocos países tienen el potencial para producir energías limpias, como es el caso de México; sin embargo, a pesar de esta ventaja, la política energética reciente ha incentivado también la producción de energías no renovables.

En el marco global, China y Estados Unidos son los principales productores y consumidores de energía, total y eléctrica. México mantiene niveles más bajos tanto en producción como en consumo energético. La producción de electricidad a través de energías renovables es mayor en los países de Noruega, Brasil y Nueva Zelanda, y comparativamente menor en Estados Unidos, China y México. Aun cuando este último es un país pequeño en relación a los dos primeros, su porcentaje de renovables en la energía eléctrica es cercana a la de ellos.

La ventaja que podría tener México dentro de la producción de energías con fuentes renovables, como la solar y la eólica, se vio frenada a partir de la política energética del gobierno actual que busca modernizar y priorizar a Pemex y CFE al modificar la Ley de la Industria Eléctrica, publicada el 9 de marzo de 2021, donde la producción de energía eléctrica estará a cargo de la CFE (DOF, 2021), limitando la participación de los privados.

El enfoque de crecimiento económico relaciona de manera positiva el consumo de energía con mayores tasas de crecimiento del PIB real. El efecto contaminante establece una relación inversa entre las emisiones de gases de efecto invernadero con el crecimiento del PIB per cápita. La evidencia empírica mostrada en el caso de los CIVETS y el Ecuador confirma estas relaciones. En México, también se encontró una relación positiva entre estas variables en 2011.

Los principales resultados de esta investigación indican que las emisiones contaminantes (CO₂) disminuyen a medida que se incrementa CER y aumentan conforme se incrementa CENR. El consumo de energía tiene un impacto positivo en el crecimiento

económico, mayor con CER que con CENR. En el análisis por actividad económica, el sector secundario muestra un efecto de crecimiento económico con el consumo de energía, relativamente mayor con el CENR, aunque el resultado no es significativo en términos estadísticos. Para el sector terciario, el consumo de energía conduce a mayores tasas de crecimiento, cuyo efecto es mayor con el uso de las energías renovables.

Se concluye que existen relaciones de largo plazo entre el crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes. En síntesis, las energías no renovables propician el efecto contaminante por las emisiones de dióxido de carbono. Mientras que el uso de energías renovables promueve el crecimiento. Con lo anterior, resulta pertinente para la política energética una revisión de las implicaciones que conlleva el fortalecimiento de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía en el país.

6. REFERENCIAS:

- Alarco, G. (2006). Crecimiento económico y emisiones de CO₂ por combustión de energéticos en México, 2005-2030, *Economía Mexicana. Nueva Época*, XV(2), segundo semestre, 291-325.
- Aviso 100/2021/072 de 2021 [Secretaría de Energía]. Por el que se da a conocer a los participantes del mercado eléctrico mayorista, el Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación del nueve de marzo de dos mil veintiuno. 24 de marzo de 2021.
- Campo, J. y Olivares, W. (2013). Relación entre las emisiones de CO₂, el consumo de energía y el PIB: El caso de los CIVETS. *Semestre Económico*, 16(33), 44-66.
- Caraballo, M. y García, J. (2017). Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas, *El Trimestre Económico*, LXXXIV(3), julio-septiembre, 571-609.
- Decreto de 2015 [Congreso de la Unión]. Por el que se expide la Ley de Transición Energética. 24 de diciembre de 2015.
- Decreto de 2021 [Congreso de la Unión]. Por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de Ley de la Industria Eléctrica. 9 de marzo de 2021.
- Dickey, D. A. y Fuller, W. A. (1981). Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Econometrica*, 49(4), 1057-1072.
- Domínguez, J. C. (2011). Megaproyectos, infraestructura y los límites de la democracia delegativa, *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 4(7), 33-62.
- Donayre, J., Herrera, M., Asto, J. D., Medina, D., y Segil, A. (2020). *Modelo de crecimiento económico AK*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Herrera-2/publication/346471405_Modelo_AK_de_Sergio_Rebelo_con_EDO/links/5fc3d44692851c933f76561b/Modelo-AK-de-Sergio-Rebelo-con-EDO.pdf
- EIA. (6 de mayo de 2021). *U.S. Energy Information Administration*. <https://www.eia.gov/>
- Enerdata. (28 de enero de 2021). *Anuario estadístico mundial de energía 2020*. <https://yearbook.enerdata.net/>
- Flyvbjerg, B. (1 de octubre de 2020). "What is a Megaproject?". <http://flyvbjerg.plan.aau.dk/whatisamegaproject.php>
- Gómez, C. (2011). Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana. *Revista Fuente*, 3(9), 67-80.
- ICEX. (2020). *Energías Renovables en México*. https://www.ivace.es/Internacional_Informes-Publicaciones/Pa%C3%ADses/M%C3%A9xico/M%C3%A9xico_energiasrenovicex2020.pdf
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P. y Shin, Y. (1992). Testing the Null Hypothesis of Stationary against the Alternative of a Unit Root. *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-178.

- Larraín, F. y Sachs, J. (2002). *Macroeconomía en la economía global*. Pearson.
- Loaiza, V. (2018). Crecimiento económico y el uso de energía sustentable y no sustentable: un enfoque del caso ecuatoriano usando técnicas de cointegración. *Revista Killkana Sociales*, 2(3), 75-86.
- North, D. (1998). *La teoría económica neo-institucionalista y el desarrollo latinoamericano*. Proyecto PNUD Red para la Gobernabilidad y el Desarrollo en América Latina- Instituto Internacional de Gobernabilidad.
- ONU. (2020). *Desafíos globales. Cambio climático*. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>
- Phillips, P. C. B., y Perron, P. (1988). Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.
- Proyectos México. (2021). *Macroproyectos y programas*. <https://www.proyectosmexico.gob.mx/proyectos/>
- Reyes, G. (2001). Principales teorías sobre el desarrollo económico y social. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, (4). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18100408>
- Salazar-Núñez, H. y Venegas-Martínez, F. (2018). Impacto del uso de energía y formación bruta de capital en el crecimiento económico. Un análisis de datos de panel en 73 países agrupados por nivel de ingreso y producción de petróleo. *El Trimestre Económico*, LXXXV(2), núm. 338, abril-junio, 341-364.
- SEMARNAT. (24 de septiembre de 2018). *Energías renovables, gran oportunidad para México*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/energias-renovables-gran-oportunidad-para-mexico-172759>
- SENER. (2012). *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2012-2026.pdf
- SENER. (2018). *Prospectiva de Energías Renovables 2018-2032*. https://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PER_18_32_F.pdf
- Tietenberg, T. y Lewis, L. (2009). *Environmental & Natural Resource Economics*. Pearson.
- Vargas-Hernández, J. G. (2008). Análisis crítico de las teorías del desarrollo económico. *Seminario Internacional sobre Desarrollo regional*. UNISC. <https://www.unisc.br/site/sidr/2008/textos/63.pdf>
- Velázquez, D. (2013). *Teoría de la dinámica de las economías de mercado*. Plaza y Valdés.
- Zamarripa, N. R. (2016). *Consumo de electricidad y crecimiento económico en México: Análisis de series de tiempo y prospectiva*. [Tesis de Maestría, El Colegio de la Frontera Norte]. <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/10/TESIS-Zamarripa-Villa-Nayib-Ren%C3%A9.pdf>