

## EL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO Y SU FUTURO CON BASE EN ENERGÍAS RENOVABLES

### *THE MEXICAN ENERGY SECTOR AND ITS FUTURE BASED ON RENEWABLE ENERGIES*

José Gesto Rodríguez<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-9396-6020>

Recibido: 18-08-2022

Aceptado: 21-10-2022

#### Resumen

En los años 2015-2018, justo después de la promulgación de la reforma energética 2013-2014, la situación del sector energético de México empeoró. La mayoría de los problemas fueron el producto de la acumulación de decisiones erróneas vinculadas a la política energética, que surgieron debido a la reversión de un boom del mercado internacional del petróleo de larga duración, no previsto por las autoridades mexicanas. Aunque México tiene un alto potencial de desarrollo de ER (Energías Renovables), solo se ha utilizado un bajo porcentaje de esta energía (es decir, 1.7% y 2.3% en energía eólica y geotérmica); por lo tanto, existen enormes oportunidades de inversión para mejorar su uso.

México ocupa el cuarto lugar en generación de energía geotérmica en todo el mundo (958 MW). Aunque la generación de energía actual a partir de tecnologías solares es baja, tiene un alto potencial porque se encuentra entre los cinco países más llamativos del planeta para invertir en esta fuente renovable. Se espera que a mediados de la década de 2020, a pesar del crecimiento de la población, el país consuma sustancialmente menos gasolina, diésel y otros combustibles, que en la actualidad. Para ello, el gobierno y las compañías petroleras deben conciliar acuerdos en aras de adherirse al acelerado proceso de sustitución de energía iniciado a nivel internacional, con un ritmo muy rápido para la exploración y explotación de petróleo y gas en el territorio mexicano, a partir del año 2025; apresurando el desarrollo de fuentes de energía que no sean fósiles.

**Palabras clave:** Sector energético; energías renovables; reformas energéticas; cambio climático; energía primaria.

#### Abstract

In the years 2015-2018, just after the promulgation of the energy reform 2013-2014, the situation in México's energy sector worsened. These problems were motivated by the accumulation of erroneous energy policy decisions that arose due to the reversal of a long-term international oil market boom, not foreseen by the Mexican authorities. Although México has a high potential for ER development, only a low percentage of this energy has been used (ie 1.7% and 2.3% in wind and geothermal energy). Therefore, there are many investment opportunities to improve its use.

México ranks fourth in geothermal power generation worldwide (958 MW). Although the current energy generation from solar technologies is low, it has high potential because it is among the five most striking countries in the world to invest in this renewable source. It is expected that in the mid-2020s the country consumes less gasoline, diesel and other fuels than at present,

<sup>1</sup> Investigador Independiente, México, [campus.off@gmail.com](mailto:campus.off@gmail.com)

despite population growth. Therefore, the government and the oil companies must reconcile the rapid process of substitution of energy initiated at international level, with a very fast pace for the exploration and exploitation of oil and gas in the Mexican territory in 2025 onwards. They must accelerate the development of non-fossil energy sources.

**Keywords:** Energy sector; renewable energy; energy reforms; climate change; primary energy.

## Introducción

La sostenibilidad energética, tal como la define el Consejo Mundial de Energía, es el equilibrio entre la seguridad energética, la equidad social y la mitigación del impacto ambiental (World Energy Council, 2017). Esta definición está alineada con el concepto de desarrollo sostenible, cuyo objetivo es encontrar un equilibrio entre los sistemas económicos, ambientales y sociales. El desarrollo de esquemas de energía que sean estables, asequibles y ambientalmente viables, no es simple; y las soluciones a este problema, son complejas. México requiere una aplicación de políticas sostenibles para fortalecer planes estratégicos a mediano y largo plazo.

México es el décimo cuarto (14º) país del mundo en emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) relacionadas con la energía (European Commission, 2019). En el año 2012, dichas emisiones representaban el 67,3% de las emisiones nacionales de GEI y ascendían a un total de 503 Mt de CO<sub>2</sub>, o una emisión per cápita de 3,7 t de CO<sub>2</sub> (National Ecology Institute [INECC], 2013). A finales de 2014, la capacidad instalada en México ascendía a 65,45 GW; de los cuales, las tecnologías que utilizan combustibles fósiles representaban más del 70% (Secretariat of Energy, 2015).

Por otro lado, México posee importantes potenciales para la explotación de las Fuentes de Energía Renovable (FER). Como lo informan Vidal et al. (2015), este país puede aprovechar varias alternativas, incluyendo: energía hidroeléctrica, bioenergía, radiación solar, energía geotérmica, energía eólica y energía de las olas; sin embargo, esta última, actualmente no se estudia extensamente.

En el año 2008, el Congreso mexicano aprobó una legislación que establece límites en el uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad del 65% para el año 2024, 60% para el año 2035, y 50% para el año 2050. No obstante, en diciembre de 2015, los cambios en un nuevo proyecto de ley abolieron estos límites, lo que llevó a objetivos no especificados para las fuentes de energía renovables en el sistema eléctrico; y a cambiar los límites originales en el uso de combustibles fósiles, por objetivos de participación de energías "limpias", que incluyen la energía

nuclear y los combustibles fósiles con tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (Manzini y Martínez, 2004). Por tanto, definir una estrategia para la transición hacia un sistema eléctrico sostenible es importante para México en un contexto de rápido agotamiento de las reservas de combustibles fósiles y de crecimiento continuo del consumo de energía. La explotación de las FER adquiere una gran importancia para el país y su sistema eléctrico, en aras de continuar manteniendo la autosuficiencia energética actual, con la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) relacionadas con la energía.

De otra parte, a partir de diciembre de 2013, México ha iniciado un ambicioso proceso de transformación, destinado a poner fin a los monopolios estatales en el sector energético. Las nuevas previsiones constitucionales establecieron nuevas estructuras industriales en petróleo, gas natural y electricidad. El propósito era la introducción de la competencia en los mercados de productos refinados y electricidad, y que la inversión privada fluyera a varios segmentos de estas industrias. El Estado mantendría la propiedad y el control de los activos de hidrocarburos del subsuelo (Lajous, 2014).

La reforma histórica del sector energético de México tiene el potencial de transformar y hacer crecer la economía, y atraer miles de millones de dólares de inversión Euromonitor International (2013, 2015a). Pero, el crecimiento económico tiene un precio: una compensación entre el crecimiento económico y la protección del medio ambiente; ya que las emisiones de dióxido de carbono se disparan y la contaminación se convierte en un grave problema en medio del progreso económico y la industrialización (Burchardt et al; 2018). Las empresas que ofrecen tecnologías limpias encontrarán oportunidades, a medida que las economías emergentes trabajen e inviertan para reducir el daño ambiental (Ambec et al; 2013; Euromonitor International, 2015b; Jaffe y Palmer, 1997).

En diciembre de 2015, en virtud del Acuerdo de París, México acordó una Contribución determinada a Nivel Nacional (NDC) que cubre los objetivos tanto para las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como para el Carbono Negro (BC). En su NDC, México propuso reducir incondicionalmente las emisiones combinadas de GEI y BC en un 25% por debajo de los niveles habituales (BAU) en 2030 (UNFCCC, 2015). México también propuso una reducción del 40% de las emisiones de GEI y BC para 2030, con la condición del cumplimiento de ciertos requisitos para un acuerdo global y apoyo internacional. El componente de GEI de estos objetivos se traduce en

el propósito de reducción del 22% por debajo de BAU incondicionalmente, y del 36% condicionalmente para 2030 (R. Sullivan y J. Sullivan, 2005).

Una de las principales estrategias promulgadas fue una nueva política de energía limpia, su Ley de transición energética fue aprobada en diciembre de 2015 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2015), la cual incluye un objetivo de energía limpia: el 25% de la generación de electricidad para 2018, el 30% para 2021 y el 35% para 2024; estos objetivos han sido de gran importancia para dar forma a las trayectorias de emisiones de GEI (Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales [PROMARNAT], 2013; Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México [SERMANAT], 2013).

Según informe de Climate Action Tracker, un consorcio independiente global liderado por tres organizaciones de investigación que realizan un seguimiento de la acción climática, de abril de 2018, califica el desempeño de México como: “Insuficiente”, lo que significa que el compromiso incondicional de NDC de México no es consistente con mantener el calentamiento por debajo de 2 °C, y mucho menos limitarlo a 1.5 °C, como lo requiere el Acuerdo de París; y en cambio, es consistente con el calentamiento entre 2 °C y 3 °C”. El análisis sugiere que México necesitará implementar políticas adicionales para alcanzar sus objetivos de NDC propuestos.

El progreso de México en la planificación de políticas y la infraestructura institucional en los últimos años, ha sido importante; la política climática traduce los objetivos en estrategias y planes, proporciona el marco institucional para la implementación, pero no incluye instrumentos políticos concretos, lo que hace imposible revelar y cuantificar sus efectos directos (Jaffe et al; 2002; Pindyck, 2013). La Estrategia Nacional sobre Cambio Climático (NSCC) está diseñada para un desarrollo estratégico a largo plazo, y solo proporciona una orientación muy general, por lo que la implementación es de suma importancia (Climate Action Tracker, 2019).

El principal problema no radica en establecer objetivos ambiciosos, sino en la implementación de la política y la eficiencia institucional, a través de relaciones complejas dentro de los sistemas socioeconómicos (Siew, 2015), incluido el sector empresarial (Levin et al; 2013). La transformación institucional mexicana en el ámbito de la energía incluye múltiples instrumentos de política que probablemente crearán efectos indirectos ya que los límites del sistema son inciertos y la retroalimentación entre los sistemas es de difícil manejo (Forrester, 1995; Sterman, 2006).

El objetivo de este artículo es realizar una revisión de literatura de carácter narrativo, que permita determinar el estado actual del sector energético en México, el potencial de sus energías renovables, y visualizar su futuro, con apoyo de algunas sugerencias que permitan viabilizar y poner en marcha, políticas y estrategias de las energías renovables.

## **Método**

### **Tipo de Investigación**

El estudio realizado es de carácter cualitativo. Se realizó una revisión narrativa, donde se describen los factores relacionados a la temática, sin generar cifras de resumen agrupadas como exige el metaanálisis. Se brindó una visión teórica general integral de la temática objeto de investigación y se estructuraron temas centrales de análisis, sin informar sobre cómo se llevó a cabo la búsqueda de literatura o cómo se decidió, qué estudios fueron relevantes para incluir, por no estar clasificada como una revisión sistemática.

### **Políticas Actuales de Carácter Climático en México (Action Tracker, 2019)**

La administración de México bajo López Obrador, quien asumió el cargo en diciembre de 2018, aún no ha desarrollado ni anunciado el tercer Programa Especial sobre Cambio Climático (PECC 2019-2024) que se requiere en virtud del artículo 66 de la Ley General de Cambio Climático de México. El Estado no tiene un plan de acción para el cambio climático en el corto plazo, por lo que es aún menos probable que logre sus objetivos climáticos internacionales. A diferencia de las administraciones anteriores, la Estrategia Nacional de Desarrollo de López Obrador no menciona ni objetivos específicos de mitigación climática, ni estrategias de implementación para su gestión.

El gobierno de López Obrador también ha dado un paso atrás la consideración de los aspectos climáticos, al favorecer el uso de los combustibles fósiles sobre la generación de energía renovable; esto incluye la construcción de una nueva refinería de petróleo y una nueva asignación presupuestaria para la "modernización" de las centrales eléctricas de carbón, diésel, gas y petróleo, para algunas de las cuales ya se tenía su retiro programado en la administración anterior. La nueva administración ha priorizado el desarrollo de otros proyectos de energía renovable, al cancelar también la ronda de subasta de electricidad a largo plazo de 2018 en México. El esquema se introdujo en el año 2015 como uno de los principales instrumentos del país para lograr sus

objetivos de energía limpia —de 30% y 35% para 2021 y 2024 respectivamente— en virtud de su Ley de transición energética y la Ley general de cambio climático.

La decisión de favorecer la generación de combustibles fósiles sobre las energías renovables, ahora coloca a México en un camino que es aún más inconsistente con los pasos necesarios para alcanzar el límite de 1.5 °C del Acuerdo de París. Sus planes para el sector eléctrico, especialmente la decisión de invertir en carbón, contrastan con lo que se requiere para alcanzar el límite de 1,5 °C. El Acuerdo de París sugiere la no instalación de nuevas plantas de carbón, con el propósito de reducir las emisiones de la flota de carbón existente en todo el mundo en dos tercios durante el período 2020-2030, y colocándolas en cero en el año 2050.

En octubre de 2019, México publicó las reglas preliminares para su mercado de carbono. El ETS contiene una fase de prueba de 30 meses, después de la cual el inicio formal comenzará en el año 2023. El inicio oficial se programó originalmente para el año 2021. Las regulaciones preliminares indican que el límite de emisiones para la fase de prueba será determinado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT, 2014), al menos 30 días antes de su inicio, según las emisiones históricas reportadas de los participantes y el NDC de México. La definición del límite de ETS en emisiones históricas pone al programa en riesgo de no lograr reducciones sustanciales de emisiones. El límite debería establecerse en función de los ambiciosos compromisos climáticos internacionales que están en línea con el objetivo del Acuerdo de París.

Las políticas actuales de México generarán emisiones entre 724 MtCO<sub>2</sub>e y 736 MtCO<sub>2</sub>e excl. LULUCF en 2020. En el año 2030, se proyecta que el nivel de emisiones alcance 810–843 MtCO<sub>2</sub>e, excl. Históricamente, las emisiones de México han aumentado desde 1990; mientras que en 1990 las emisiones agrícolas representaban el 31% de las emisiones de GEI de México, en 2015, su participación había disminuido al 18%. Durante el mismo período, las emisiones relacionadas con la energía aumentaron sustancialmente, en casi un 40%.

La orientación política climática en México está determinada por su “Ley General de Cambio Climático” (LGCC), que fue adoptada en el año 2012, la cual traduce los objetivos generales en estrategias y planes, y proporciona el marco institucional para su implementación. En particular, la reforma más reciente a esta ley incluye la incorporación de los objetivos de reducción de emisiones sectoriales NDC de México para los sectores de transporte, generación de electricidad, edificios, petróleo y gas, industria, agricultura y desechos.



Parte del marco institucional requerido por esta legislación incluye el desarrollo de una Estrategia Nacional sobre Cambio Climático, que proporciona planificación a largo plazo, y un Programa Especial sobre Cambio Climático (PECC) para la planificación a corto plazo. México publicó su primera y segunda estrategia nacional sobre cambio climático en los años 2009 y 2013, respectivamente; y su primer y segundo PECC en los años 2008 y 2014, respectivamente. La actual Estrategia nacional sobre cambio climático de México vigente a partir de junio de 2013 está diseñada para el logro de un desarrollo estratégico a largo plazo, pero solo proporciona una orientación muy general. Según el Artículo 66 de la LGCC de México (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012) cada administración entrante tiene el mandato de desarrollar un nuevo PECC que refleje la planificación de seis años de una administración sobre el cambio climático. Este documento debe incluir objetivos de mitigación y adaptación a corto plazo por sector, así como una lista de acciones concretas, presupuestos y responsabilidades claras a nivel federal y estatal para lograr los objetivos (Artículo 67 de la LGCC). Esto, al tiempo que alinea los objetivos a corto plazo con los compromisos climáticos internacionales de México.

El Segundo Programa Especial sobre Cambio Climático (PECC) (Gobierno de México, 2014), publicado en 2014, incluye las medidas de mitigación más relevantes para 2018. El programa resume veintitrés (23) medidas cuantificadas relevantes para la mitigación que conducen a una reducción de las emisiones de 83 MtCO<sub>2</sub> e en 2018 en comparación con la línea de base presentada en el mismo documento. Por su parte, la administración actual de México, en funciones desde diciembre de 2018, hasta noviembre de 2019 aún no ha desarrollado, ni anunciado el desarrollo de un tercer PECC para el período PECC 2019-2024, a partir de noviembre de 2019. Esto significa que México no tiene actualmente agenda climática a largo plazo, lo que hace que sea aún menos probable que cumpla sus compromisos climáticos internacionales, y mucho menos se alinee con el objetivo del Acuerdo de París.

En el año 2014, México implementó un impuesto al carbono que se establece en aproximadamente US \$3.5/tCO<sub>2</sub> e diferenciado por tipo de combustible (SEMARNAT, 2014). Se espera que este impuesto genere un ingreso anual de aproximadamente US \$1 mil millones. Sin embargo, su impacto en la reducción de emisiones de GEI no está claro y, dada su baja tasa, es improbable una reducción sustancial de emisiones. A fines de 2017, entró en vigencia la regulación para el uso de créditos de reducción de emisiones para el cumplimiento del impuesto al carbono en México; este reglamento establece la asignación de Reducciones de Emisiones Certificadas

(CER) de proyectos MDL en México, así como Reducciones de Emisiones Certificadas Verdes en el ETS de la UE, como medios de pago bajo el impuesto al carbono (Banco Mundial Grupo y Ecofys, 2018; Diario Oficial de la Federación, 2017).

En 2017, México comenzó una simulación de un esquema voluntario de comercio de emisiones (ETS). La Ley General de Cambio Climático se modificó más tarde ese año, para hacer que el esquema sea obligatorio tan pronto como concluya su fase piloto de tres años. El ETS no reemplazará el impuesto al carbono existente. La fase piloto del ETS, originalmente programada para iniciar en agosto de 2018, comenzará a funcionar en 2019 (SEMARNAT, 2017, 2018).

Una nueva reforma al LGCC en 2018 sienta las bases para el establecimiento del mercado de carbono obligatorio al establecer mecanismos de rentabilidad, MRV, plazos y obligaciones después de la fase piloto (Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos de la Federación, 2018). En octubre de 2019, se publicaron las reglas preliminares para el mercado de carbono de México (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2019). El inicio formal del ETS, originalmente planeado para agosto de 2021, junto con la entrada en vigor del Acuerdo de París, se ha retrasado hasta enero de 2023 (DOF, 2019; SEMARNAT, 2017, 2018).

Las regulaciones preliminares indican que el límite de emisiones para la fase de prueba será determinado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT). La definición del límite de ETS en emisiones históricas pone al programa en riesgo de no lograr reducciones sustanciales de emisiones. El límite debería establecerse en función de los ambiciosos compromisos climáticos internacionales que están a la luz del objetivo del Acuerdo de París. Se espera que entre 400 y 700 empresas participen en el mercado (Santiago y Rodríguez, 2017).

## **Energía Primaria y Reservas Mexicanas**

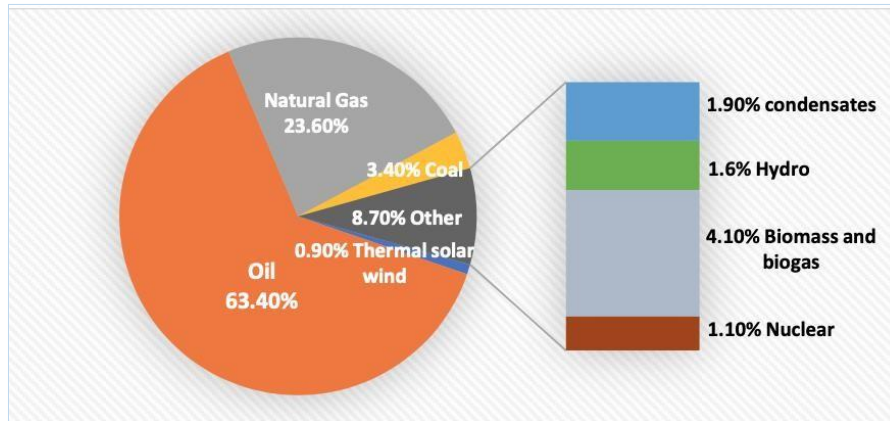
En 2014, la producción efectiva de energía primaria en México ascendió a 8,854 peta julios; de los cuales, el 92.3% provenía de combustibles fósiles: petróleo, 63.4%; gas natural, 23.6%; combustibles condensados, 1.9%; y carbón, 3.4%. El 7.7% restante procedía de fuentes alternativas: energía nuclear, 1.1%; energía hidráulica, 1.6%; energía geotérmica, solar fotovoltaica y eólica, 0.9%; biomasa, principalmente leña y biogás, 4.1%; y otros, 0.3% (Figura 1). Estas fuentes tienen gran trascendencia por tres razones: el deterioro ambiental de las regiones productoras, las grandes ciudades, los lagos y las aguas subterráneas; los compromisos



internacionales, en los que México ha desempeñado un papel activo, como la COP 21; y el rápido agotamiento entre 2004 y 2016 de las reservas probadas de hidrocarburos (-47%) y la producción de hidrocarburos (-35%).

### Figura 1

Composición efectiva de producción de energía primaria de México (%) Sobre la base de la producción de 2014 de 8.854 Petajules\* (Un petajulio = 238,845.9 gigacalorías)



Nota. Datos tomados de Secretaría de Energía [SENER] (2018).

En 2015 la producción efectiva total disminuyó un -6,7% con respecto a la de 2014 y un -16,7% con respecto a la de 2005, cuando ascendía a 10.625 Petajules. La razón de esto fue particularmente la declinación del megacampo Cantarell, ubicado en las zonas poco profundas de la región sureste de México, cuya producción bajó de 2.4 millones de barriles diarios (MMBPD) a finales de 2004, lo que representa el 63% de la producción nacional, a 185 mil barriles diarios (TBPD) en junio de 2017, lo que representa sólo el 9.2% de la producción nacional. A través de la producción de otro gran yacimiento en la misma región, Ku-Maloob-Zaap, atenuó el efecto de caída de Cantarell y corroboró cuán bien dotado está el Golfo de México en términos de hidrocarburos. La producción total de petróleo exhibió una tasa anual de declinación entre 2004 y 2017 de -4,2% (Petróleos Mexicanos [PEMEX], 2017; SENER, 2016, 2017).

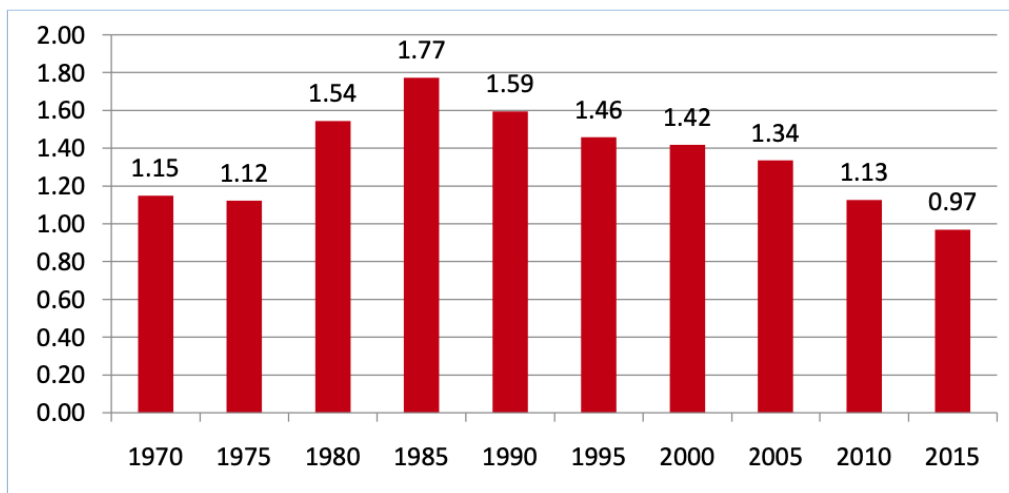
De otra parte, valga precisar que el efecto del agotamiento de Cantarell en la producción de gas natural no se manifestó de inmediato, ya que la producción de gas asociado siguió creciendo, y la de gas seco aumentó constantemente gracias a la intensificación de la producción de gas seco en la región noreste de México, particularmente en la provincia de Burgos. El pico de producción se alcanzó a finales de 2008, 7.359 millones de pies cúbicos por día (MMCFD), suficiente para cubrir la demanda nacional. A partir de ese momento comenzó a caer, llegando a 5.288 MMCFD

a mediados de 2017, una caída media anual del -4%. Debido a este hecho, y a la transformación de las actividades industriales nacionales, particularmente la de generación de energía, que fue reorientada para consumir gas natural en lugar de combustibles líquidos, el consumo de gas natural siguió creciendo, así como las importaciones.

A mediados de 2017, este último representaba alrededor del 40% del consumo nacional. Esta cifra es mayor en el caso de la gasolina y el diésel (México cuenta con sólo seis refinерías y operan entre el 40% y el 50% de la capacidad instalada). Además, el país depende de las importaciones de múltiples productos petroquímicos. El petróleo crudo es, por otro lado, el único combustible que México exporta abundantemente: 1.2 MMBPD en 2018 (PEMEX, 2018; SENER, 2016, 2017). En vista de esto, desde 2015 el consumo de energía de México en términos de petajulios va a la zaga de su producción, como lo muestra la Figura 2.

### Figura 2

*Relación producción/consumo de energía*

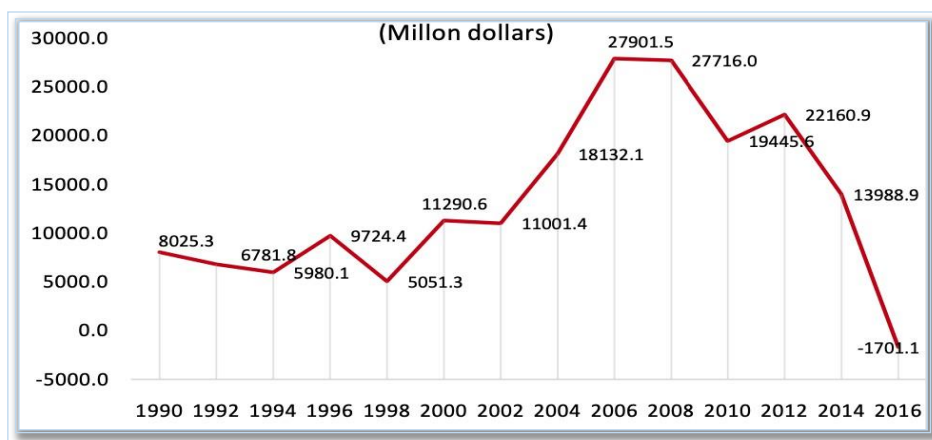


*Nota.* SENER (2018).

En caso de agregar productos petroquímicos a la relación anterior, las exportaciones de energía en términos de moneda extranjera son más bajas que las de las importaciones, como se muestra en la Figura 3. Tanto las exportaciones como las importaciones se realizan principalmente con los EE. UU. Y la industria intracomercial. El déficit de México con ese país en términos de hidrocarburos y petroquímicos es considerable.

### Figura 3

#### *Balance externo de petróleo, gas y productos de México*



Nota. PEMEX (2017).

Las reservas probadas de hidrocarburos han caído a una velocidad más rápida que la producción durante los últimos años: en 2005, ascendieron a 17.500 millones de barriles equivalentes de petróleo (BBOE); a principios de 2017 cayeron a 8.56 BBOE, una tasa de reducción promedio anual de 5.9%. Por lo tanto, la vida esperada de las reservas probadas de hidrocarburos se redujo de 10.3 años en 2005, a 8 años en 2017, y 7.5 en 2018, y la tasa promedio de reemplazo fue cercana a 0.75 durante todo el período; pero en 2016 se redujo a aproximadamente 0.10 debido a la baja tasa de inversión en pozos productivos y de desarrollo (SENER, 2016, 2018; PEMEX, 2007, 2016).

Los recursos de hidrocarburos de aguas profundas de México se estiman en cerca de 26.5 BBOE (Senado de la República, Diario de Debates, 2013), y la Administración de Información Energética de los Estados Unidos estima que las reservas de petróleo de esquisto del condado son las octavas más grandes del mundo, y los de gas de esquisto para ser el sexto (US Energy Information Administration [USEIA], 2017). En la industria energética, la capacidad de generación efectiva para usos comerciales en 2015 fue de 54.825,4 megavatios (MW), de las siguientes fuentes: plantas termoeléctricas convencionales (hidrocarburos líquidos y gas natural), 62,6%; plantas hidroeléctricas, 21,9%; plantas de carbón, 9,8%; plantas de energía nuclear, 2,8%; fuentes renovables (plantas geotérmicas y eólicas), 2,7%. La energía de biomasa no está incluida, ya que no tiene un carácter comercial; y la energía solar fotovoltaica, así como ciertos tipos de bioenergía, no se mencionan, ya que tienen una participación bastante baja en la energía comercial.

Sorprendentemente, esta estructura no ha mejorado con respecto a la que prevalecía hace 30 años, cuando se emprendieron los primeros pasos para sustituir las fuentes de energía tradicionales por fuentes renovables. En 1986, las centrales térmicas convencionales fueron la fuente del 62,6%, y las centrales hidroeléctricas del 30,7% (Wionczek, Guzmán y Gutiérrez, 1988).

Después de tres décadas, las centrales hidroeléctricas perdieron nueve puntos porcentuales de participación; las plantas de carbón, que son por lejos las más agresivas para el medio ambiente, ganaron 5.4 puntos porcentuales; las plantas de energía geotérmica permanecieron casi sin cambios; y se observó un aumento del 2.8% en la energía nuclear debido a la incorporación de la planta Laguna Verde, en la costa este de México. Los aerogeneradores se establecieron con casi el 1 por ciento. En los años 2015-2018, justo después de la promulgación de la reforma energética 2013-2014, la situación del sector energético de México empeoró. Dichos problemas fueron motivados por la acumulación de decisiones erróneas de política energética que surgieron debido a la reversión de un boom del mercado internacional del petróleo de larga duración, no previsto por las autoridades mexicanas. Los hechos son los siguientes:

- El precio de exportación de la mezcla de petróleo mexicana se deterioró de un promedio de 98.79 dólares por barril (D/B) en junio de 2014 a 23.91 D/B en enero de 2016, una contracción del 76% en menos de dos años. Durante los tres años siguientes recuperó el 60%: en noviembre de 2018 alcanzó los 70 D/ (PEMEX, 2018). Este lento proceso de reversión no tuvo precedentes desde la crisis del petróleo de los años ochenta. Las crisis de 1980 y 2010 pueden explicarse perfectamente como resultado del exceso de oferta de hidrocarburos generado después de aproximadamente una década de recuperación de los precios del petróleo y el gas. Esto condujo, por un lado, a un aumento en la producción de algunos países que no son miembros de la OPEP durante las décadas de 1980 y 1990 y, por otro lado, a la revolución del esquisto de EE. UU. a partir de 2005.
- La situación vino a peor, por una reducción en la producción mexicana de petróleo y gas. El primero bajó de un promedio de 2.5 millones de BD en 2013 a 1.89 millones de BD en 2018, y el último de 6,370 MM3FD en 2013 a 4,845MM3FD en 2018 (PEMEX, 2018).
- Todo eso, a su vez implicó, una reducción de los ingresos por exportaciones de petróleo crudo para la economía mexicana de más de 75 mil millones de dólares entre 2014-2018 en caso de que el precio de 2013 se mantuviera constante, como erróneamente esperaba el gobierno. El impacto promedio anual subyacente de -18.75 mil millones de dólares

significó una reducción de -1.8% en términos del PIB. En consecuencia, la participación de las exportaciones de petróleo en las exportaciones totales de mercancías se redujo del 12.8% en 2013 al 7.6% en 2018 (PEMEX, 2018).

- Aunque se hizo un gran esfuerzo para mantener constante el volumen de exportaciones de petróleo durante el período (1.19 MBD en 2013 y 1.2 MBD en 2018), la cantidad de petróleo crudo enviado al proceso de refinación tuvo que reducirse. Como consecuencia, la capacidad ociosa de las seis refinerías de México creció del 40% en 2013 a alrededor del 66% en 2018, y las importaciones de gasolina y diésel aumentaron de 466 mil BD (39.5% del consumo nacional de 2013) a 826 mil BD (77% del consumo nacional 2018) (PEMEX, 2018).
- La participación de los impuestos al petróleo en los ingresos presupuestarios del gobierno federal bajó del 35% en 2013 al 18.8% en 2018, generando presiones sobre otras fuentes de ingresos federales, particularmente los impuestos no petroleros asociados al consumo final (Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP], 2017).
- El gobierno federal decidió reducir la participación del sector energético en el presupuesto del 24.7% en 2013 al 20.4% en 2018, afectando particularmente a PEMEX, que bajó del 15% en el primer año al 10.3% en el segundo (SHCP, 2018).
- El gobierno esperaba que las compañías petroleras extranjeras cubrieran la brecha con nuevas inversiones en la industria de hidrocarburos a partir de 2014. Esto no sucedió, ya que solo en 2015 y 2017 dichos recursos aumentaron ligeramente en relación con su año anterior. Además, e inesperadamente, el monto recibido por esta industria durante el período fue menos de la mitad de lo que obtuvo la industria de la energía, por lo que de los 7,773.3 millones de dólares recibidos por el sector, el 31% fue obtenido por la industria de hidrocarburos y los 69 restantes. % de la industria energética, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

Foreign Investment in Mexico's Energy Sector

<b>FOREING INVESTMENT IN MEXICO'S ENERGY SECTOR, 2014-2018</b>						
	<b>Million dollars</b>					
	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018j-j</b>	<b>Acummul.</b>
Hydrocarbons extraction	260.1	796.3	403.9	590.08	373.1	2,424.2
Power industry	244.1	685.2	1,138.2	1,498.1	1,443.5	5,309.1
<b>Total</b>	<b>804.2</b>	<b>1,481.5</b>	<b>1,542.1</b>	<b>2,008.9</b>	<b>1,816.6</b>	<b>7,773.3</b>

*Nota.* CNEIE (2018).

- La falta de inversión en la industria de los hidrocarburos ha tenido serios efectos en la vida útil de las reservas de estos, ya que la relación reservas probadas/producción actual disminuyó de más de 50 años durante la década de 1980 (ciertamente sobrevaluada), a 9.3 años en 2007, y solo 7.5 años en 2018 (SENER, 2018).

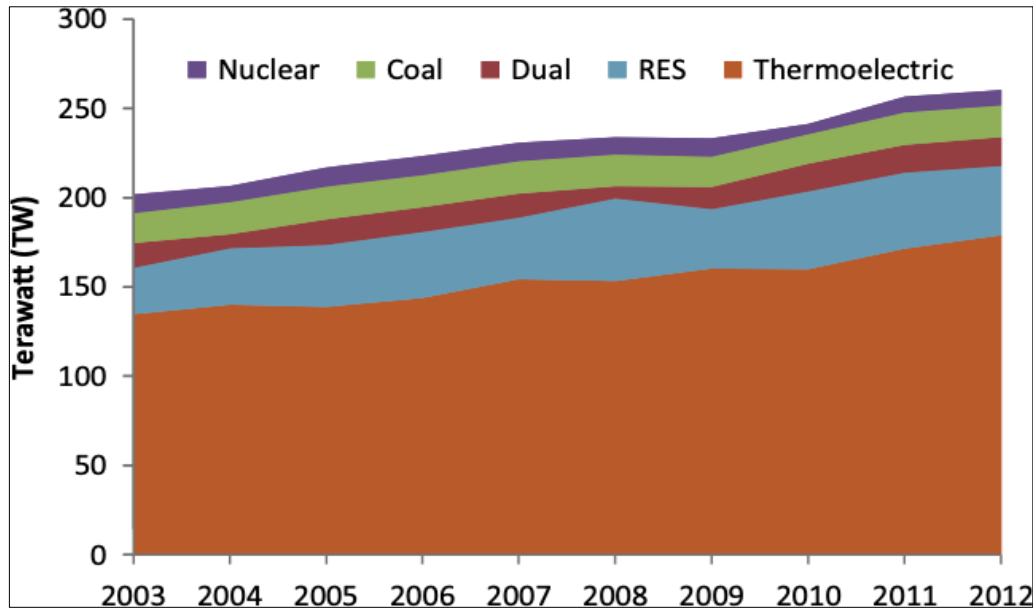
### **Energía Renovable y su Potencial Actual en México**

La generación de energía en México está dominada por la termoeléctrica (que usa combustibles fósiles) y es seguida por fuentes de energía renovables. Según las bases de datos nacionales de energía (SENER, 2011), México produjo 260,525 GWh durante 2012. Por otro lado, el consumo nacional fue de 206,480 GWh, donde el sector industrial se caracterizó por su alto consumo y sus extensos patrones de demanda. Este sector consumió 58.8%, el sector residencial 25.2% y el sector servicios y agrícola 16%. La generación de energía a partir de RES aumentó de 26 teravatios (TW) en 2003 a 39 TW en 2012, sin embargo, la contribución de ER a la generación de energía en general se ha mantenido estancada con un promedio del 16% (Figura 4).



**Figura 4**

*Generación de Energía en México*



Nota. CRE (2013).

Para los primeros dos meses de 2012, la capacidad instalada de generación de energía de RES en México era de 14.357 MW, de los cuales el 87.3% era propiedad del sector público y el 12.7% del sector privado. De esta capacidad, el 80.8% pertenece a energía hidroeléctrica, 8.5% a energía eólica, 6.7% a energía geotérmica, 3.8% a energía de biomasa y 0.2% a energía solar. Los proyectos RES están presentes en el 90% de todos los estados federales, y doscientas cuatro centrales eléctricas están en funcionamiento o en construcción con una capacidad instalada total de 5505 MW. El 75% de esta capacidad se concentra en los estados de Oaxaca, Baja California, Veracruz y Nuevo León. Oaxaca y Veracruz tienen el mayor número de proyectos eólicos y de biomasa, respectivamente, conforme lo muestra la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Proyectos RES*

State	Source					
	Biomass	Wind	Geothermal	Hydro (x ≤ 30 MW)	Solar	Total
Oaxaca	33	2422		21		2476
Baja California		102	720	24	5	851
Veracruz	270	40		125		435
Nuevo León	28	274				302
San Luis Potosi	41	200		20		261
Michoacan	15		188	28		231
Tamaulipas	13	215				228
Jalisco	61			72	30	163
Puebla	15		40	39		94
Chiapas	22	29		28		79
Otros	144	2	10	213	17	386
Total	642	3284	958	570	52	5506

*Nota.* PROMÉXICO (2012).

Por ley, solo los proyectos hidroeléctricos con una capacidad instalada de hasta 30 MW pueden ser propiedad del sector privado (SENER, 2002).

### **Energía Solar**

El potencial de la energía solar en México es uno de los más altos del mundo (SENER, 2003). Esto se debe a que el país se encuentra en el llamado "cinturón solar" con una radiación superior a 5 KWh por metro cuadrado por día (The European Photovoltaic Industry Association [EPIA], 2010). Además, México tiene la mayor base de fabricación de módulos fotovoltaicos en América Latina (PROMEXICO, 2012a). Dentro de México, el potencial de energía solar está altamente acumulado en la parte noroeste del país. En comparación, a pesar del reciente crecimiento significativo en la producción de energía solar en la Unión Europea, el potencial de la energía solar en Europa es mucho menor.

### ***Energía Solar Fotovoltaica***

Hay hasta ahora 33 MW de capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en México en funcionamiento, pero varios proyectos en construcción para alcanzar una capacidad instalada adicional de 39.1 MW. A finales de 2011, la empresa española Siliken anunció un proyecto de inversión fotovoltaica llamado "La Manzana del Sol" en el estado de Durango. El proyecto tendrá una capacidad instalada de 100 MW durante la primera etapa y 400 MW en los próximos cinco años. México es el principal proveedor de módulos fotovoltaicos en América Latina y tiene una capacidad de producción anual de más de 276 MW (justo por encima de Brasil, Chile y Argentina). Los principales desarrolladores de energía fotovoltaica son los sistemas Abengoa, Abener, Del Sol, Microm, Iberdrola y Siliken (Alatorre, 2009).

### ***Energía Solar Concentrada y Calentadores de Agua***

El proyecto "171 CC Agua Prieta II" inició operaciones en Sonora. Este desarrollo cuenta con dos estaciones: una de ciclo combinado de 477 MW y otra solar con canales parabólicos con una capacidad de 14 MW. Según el último informe del Balance Energético Nacional, las instalaciones de calentadores de agua aumentaron un 19% respecto al año anterior, alcanzando 1.665.502 m<sup>2</sup> en 2010. Esta tecnología se utiliza principalmente en México para calentar agua para piscinas, hoteles, deportes, clubes, hogares, hospitales e industrias (PROMEXICO, 2012a).

### ***Energía Eólica***

La capacidad instalada de los parques eólicos en operación alcanzó aproximadamente 1215 MW. Solo el 7% es operado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), y el resto es operado a través de licenciatarios bajo contratos de autosuficiencia, pequeños productores y productores dependientes. El esquema de autoabastecimiento permite a las empresas generar electricidad para autoconsumo mediante el establecimiento de un organismo/entidad cuyo objetivo principal es satisfacer todas las necesidades energéticas de sus socios (PROMEXICO, 2012b).

El principal sistema de generación de energía eólica se encuentra en el sureste de México (La Venta-Oaxaca). Este sistema está conectado al sistema de red interconectado nacional con una capacidad de potencia de 84,6 MW y un factor de capacidad de casi el 40% durante 2008. Se planea agregar 591 MW a través de generadores privados (Sheinbaum, Ruiz y Ozawa, 2011).

México tiene un potencial de energía eólica de 71.000 MW (AMDEE, 2010; CONCAMIN, 2012; Instituto de Investigaciones Eléctricas [IIE], 2010).

### **Energía Hidroeléctrica**

La capacidad de generación de energía hidroeléctrica en México es administrada por los sectores público y privado. En el año 2012, la CFE reportó 11.603 MW de capacidad instalada entre sus 72 estaciones en operación; esto incluía estaciones hidroeléctricas con 30 MW o menos. El sector privado tiene 28 estaciones ubicadas en nueve estados con una capacidad instalada total de 308 MW. Aunque no se ha estimado completamente el potencial total de esta forma de generación de energía, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (CONAE) ya ha identificado más de 100 sitios posibles para su explotación. Por ejemplo, en los estados de Veracruz y Puebla, se estima que existe un potencial para la generación de 3570 GWh/año equivalente a una capacidad instalada promedio de 400 MW (PROMEXICO, 2012a).

### **Energía Geotérmica**

México tiene un desarrollo significativo en la generación geotérmica y ocupa el cuarto lugar en generación de energía geotérmica en todo el mundo (Asociación Geotérmica Mexicana, 2013); el estado de Baja California tiene la mayor participación en esta tecnología. La capacidad actual instalada de energía geotérmica en México es de 958 MW, aunque la capacidad efectiva o de funcionamiento es de 883 MW porque dos unidades de energía antiguas de 37.5 MW en Cerro Prieto fueron desmanteladas en 2011. La planta de Cerro Prieto representa cerca de los tres cuartos de la capacidad instalada total en México (PROMEXICO, 2012b). Debido a la alta inversión necesaria para la exploración geotérmica, el potencial de esta RES en México no se ha evaluado completamente. Teniendo en cuenta las estimaciones recientes del potencial eléctrico geotérmico en México, es posible concluir que se puede definir como 2310 MW a partir de recursos hidrotermales de temperatura alta e intermedia, y al menos, 5250 MW a partir de temperatura alta e intermedia (Gutiérrez, 2012).

### **Energía Biomásica**

Hubo 59 proyectos operativos reportados para cogeneración y suministro de energía en el año 2012 (PROMEXICO, 2012a). La energía de biomasa tiene una capacidad instalada de 548 MW en operación, 40 MW son de biogás y el resto de biomasa de bagazo de caña de azúcar. Se

estima una producción potencial de bioenergía entre 2635 y 3771 PJ/año en México (ENER, 2010), donde el 77.9% provendría de biomasa sólida como plantaciones de eucalipto, residuos agroindustriales y residuos de cultivos, el 20.1% de bioenergética líquida (de caña de azúcar, *Jatropha curcas* y aceite de palma) y 2% de biogás (de residuos sólidos municipales y estiércol de ganado) (REMBIO, 2011). Valga señalar que, estas estimaciones se basaron en tierras adecuadas para cada plantación y excluyeron las: (a) utilizadas para la agricultura, (b) cubiertas por bosques, selvas y otros setos naturales, (c) que pertenecen a áreas de conservación y (d) no cultivables porque tienen una pendiente superior al 4–12%.

México es el tercer país más grande de América Latina y el Caribe en términos de superficie de cultivo, después de Brasil y Argentina (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2008). En el año 2007, el área cultivada era de 21.7 millones de hectáreas con una producción agrícola de 270 millones de toneladas. Hay cultivos ampliamente cultivados, el maíz representa el 40% del área cultivada total, mientras que el sorgo, los frijoles, la avena, la caña de azúcar, el trigo y la cebada ocuparon casi el 30% (GARPA, 2008). La biomasa residual generada a partir de estos cultivos tiene actualmente diversos usos que incluyen alimentación animal y lechos, mantillo, quema para producir energía, y finalmente compost. La utilización de biomasa para obtener energía es una opción atractiva para el sector rural debido a sus múltiples beneficios sociales potenciales (Demirbas, 2008). De esta manera, México se convertiría en un foco central de atención para la producción de biocombustibles, un campo que aún se encuentra en las primeras etapas de exploración.

### **Energías Renovables: Barreras y Soluciones**

Aunque México tiene un alto potencial de desarrollo de RES, solo se ha utilizado un bajo porcentaje de esta energía (es decir, 1.7% y 2.3% en energía eólica y geotérmica, respectivamente). Por lo tanto, existen enormes oportunidades de inversión para mejorar el uso de RES, pero también existen algunas barreras que impiden su expansión en el país:

- *Estrategia energética*: con fundamento en metodologías que evalúan la viabilidad de RES a corto plazo. La falta de valorización del uso de energías renovables (estabilidad en los precios de la energía a largo plazo y seguridad energética) y los importantes recursos petroleros del país, significan que las políticas y las perspectivas energéticas se basan en las reservas de combustibles fósiles.

- *Políticas:* el hecho de que las instituciones públicas, que proporcionan energía eléctrica al país, tengan que consumir la fuente más barata por ley (combustibles fósiles en este caso), conduce a la no promoción de RES. Es por eso que se deben considerar los incentivos económicos y fiscales; también se requiere la generación de más mecanismos financieros para hacer que RES sea competitivo frente a las fuentes convencionales.
- *Tecnología:* aunque se conoce el potencial de la mayoría de los RES, algunos otros no se han considerado, como la energía geotérmica de baja entalpía o la energía de las olas. También se necesita inversión en exploración de RES, específicamente en el caso de la energía geotérmica.
- *Ausencia de incentivos.*

Se proponen algunas sugerencias:

- Adopción de un plan nacional general para las energías renovables en México mediante el establecimiento explícito de la participación de RES en la producción de energía nacional (para cada tecnología). Definiendo los mecanismos internos que garanticen estos objetivos, de acuerdo con las necesidades y recursos disponibles en la región del país y las tecnologías potenciales que se utilizarán en esta área.
- La imperiosa necesidad de definir esquemas financieros que ayuden efectivamente a los pequeños productores de energía renovable mediante incentivos económicos y/o fiscales.
- Utilización de sistemas de estandarización y simplificación de procedimientos para contratos de interconexión a la red eléctrica que faciliten la puesta en marcha de nuevos proyectos.
- Inversión presupuestal en exploración y perforación para energía geotérmica.
- Promoción de programas educativos, de investigación y desarrollo, con apoyo financiero público-privado.

### **REmap 2030 Hoja de Ruta Energética: México (IRENA, 2015)**

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) ha desarrollado una hoja de ruta energética llamada REmap 2030. Esto muestra cómo la proporción de energías renovables en la combinación energética global puede duplicarse para 2030, tanto de manera realista, como



rentable. Todo esto, de acuerdo con los objetivos claves de la iniciativa Energía Sostenible para Todos (SE4All) dirigida por las Naciones Unidas (ONU).

REmap 2030 es el resultado de un proceso de colaboración entre IRENA, expertos nacionales dentro de cada uno de los veintiséis (26) países cubiertos por el análisis hasta la fecha, y otras partes interesadas. Este estudio es el trabajo conjunto de IRENA y la Secretaría de Energía de México (SENER). Esto identifica el posible desarrollo del país, camino a aumentar el uso de energías renovables a través de todo su sistema energético para el año 2030.

México apenas comienza a recurrir a su gran potencial de energía renovable. En el 2013, la capacidad total de energía renovable en el sector, fue de 14,2 GW del sistema total de 64 GW en capacidad. Esta participación estaba compuesta principalmente por energía hidroeléctrica (18% de la capacidad instalada total), seguido de viento y geotermia (con un total combinado de alrededor del 4%).

Mientras tanto, la energía renovable se comparte en los sectores de la industria y el transporte en 2010 (el año base de este análisis), cuya participación fue del 5% y 0.8%, respectivamente. Esto se derivó en gran medida de la combustión de subproductos de bagazo para procesos industriales basados en la generación de calor en bioenergía, así como de biocombustibles líquidos. Aunque la cuota de energías renovables fue mayor en el sector de la construcción, más de una cuarta parte de esta era atribuible al uso tradicional de biomasa (leña y residuos forestales). Esto a menudo no se obtiene de manera sostenible y no se considera una forma moderna de energía renovable para el propósito de su análisis.

Según las predicciones de SENER y la Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), la participación de México en la energía renovada modernizada solo alcanzará el 10% de TFEC para 2030. Esto equivale a más del doble de la proporción de 4.4% en 2010. Considerado a la luz de un crecimiento esperado de 64% en TFEC, esto significa un importante aumento de energía renovable, con una aceleración significativa en comparación con las tendencias históricas. Aun así, el análisis REmap muestra que mucho más, es posible.

REmap 2030 estima una cartera de opciones tecnológicas para acelerar las energías renovables en toda la energía de México, sistema que podría aumentar la participación de 2030 al 21%. Esto implica un aumento triple en el uso total de energías renovables en el mismo período.

Incrementar la cuota de energía renovable al 21% del resultado de la mezcla energética final total de México, se traducirá en un ahorro financiero. El costo y los beneficios de energías

renovables se presentan en el REmap. El primero se basa en el costo nacional del capital y los precios de los productos básicos, que incluyen impuestos locales o subsidios. La perspectiva internacional o gubernamental, está fundamentada en precios internacionales estándar de productos básicos y una tasa fija de descuento del 10%.

Los resultados de REmap 2030 muestran que más la mitad de toda la tecnología de energía renovable podrían implementarse con ahorro de costos, en comparación con las opciones de la tecnología convencional. Desde la perspectiva empresarial, esto se traduce en ahorros de USD 0.4/MWh (USD 0.1 por gigajulio (GJ)). Desde la perspectiva del gobierno, esto resulta en ahorros de USD 7.2/MWh (USD 2/GJ). Estas estimaciones se basan en proyecciones de costos de capital para energía tecnologías, y suponen un aumento del 50% en los precios de los combustibles fósiles entre 2010 y 2030. Estos ahorros de costos, sin embargo, no se tienen en cuenta para infraestructura (por ejemplo, generación adicional o capacidad de transmisión) y costos de tecnología habilitantes (por ejemplo, integración de red).

### **Planificación de Vías de Transición**

La planificación para necesidades de capacidad de generación de energía renovable, va de la mano con la planificación de relacionados de infraestructura. Hay una necesidad de claridad en reglas y códigos adecuados de operación del mercado para conexión a la red y acceso. Estos se requieren para garantizar el desarrollo de capacidad de energía renovable. Hay una necesidad de acelerar la absorción del calentamiento solar de agua y la capacidad de cogeneración alimentada con biomasa. Las políticas serán esenciales para hacer uso de los biocombustibles en el sector del transporte de México.

### **Creación de un Entorno Empresarial Propicio**

Mejorar la rentabilidad comienza con la reducción de los riesgos para los inversores en energías renovables, así como desplegar nueva capacidad. Se requieren marcos adecuados de políticas, para implementar incentivos económicos, financieros y fiscales efectivos que logren acelerar las inversiones. Además, el mercado necesita mecanismos para dar cuenta de las externalidades. La discusión sobre combustibles fósiles y subsidios renovables para el transporte y la electricidad, también será importante.

Garantía de una integración fluida en el sistema de las energías renovables. Para la integración de una proporción importante de diferentes energías renovables, las tecnologías cuentan con tres principales desafíos:

- Construir y pagar, para habilitar la red de infraestructura destinada a abordar la variabilidad.
- Planificar el uso más efectivo de tejados solares en edificios.
- Asegurar el suministro de bioenergía y reemplazar el uso de biomasa tradicional.

### **Creación y Gestión del Conocimiento**

Mejorar la información sobre energías renovables, entre formuladores de políticas, fabricantes, proyectos desarrolladores/instaladores y usuarios, es esencial. Así como aplicar modelos de sistema apropiados para crear conocimiento del sistema de energía de México; los cuales, proporcionarán información sobre cómo las acciones más altas de generación variable de energía renovable, pueden ser acomodadas en términos de transmisión, recursos del lado de la demanda y operación de la red.

### **Desarrollo de la Innovación**

La innovación tecnológica desempeñará un papel clave en el aprovechamiento del potencial de energía renovable en México. Los Centros de Innovación han comenzado a hacer contribuciones importantes; ampliarlos aún más, podría ayudar al sector a descomponer las barreras relacionadas con los costos y la disponibilidad de tecnologías que, hasta ahora solo han visto un crecimiento limitado. Hay una serie de problemas bajo examen en estos y otros centros similares; incluyen, por ejemplo, construcción, prueba y certificación de mediana escala y conceptos de aerogeneradores amigables con la red, innovaciones industriales solares térmicas y con sistemas de enfriamiento con energía solar.

Con base en lo señalado en REmap 2030, más de la mitad del uso total de energía renovable de México estaría en el sector eléctrico. México tiene el potencial de generar 280 TWh de energía renovable para 2030, lo que representa un aumento de seis veces más sobre el nivel actual de 48 TWh. Lograr esto requeriría una combinación diversificada de tecnologías de energía eólica, solar, hidroeléctrica, geotérmica y de biomasa.

La energía eólica y la energía solar fotovoltaica combinadas, representarían casi el 60% de la generación de energía renovable de México; y el 26% de la generación total en 2030. Alcanzar

este nivel de implementación requiere de políticas que tengan en cuenta la mayor superficie terrestre de México, en la que la demanda y la oferta están amenudo muy separadas. El país tiene el potencial para una generación de energías significativa a partir de biomasa y fuentes geotérmicas, que también son algunas de las opciones de suministro de energía menos costosas.

### **Discusión**

En este artículo se presentó una revisión narrativa sobre el estado actual del sector energético en México; el potencial de las fuentes de energía renovables en el país, específicamente las relacionadas con la energía hidroeléctrica, la energía eólica, la energía solar, la energía geotérmica y la bioenergía. México ocupa el noveno lugar en el mundo en reservas de petróleo crudo, y el cuarto, en reservas de gas natural en Estados Unidos. La empresa pública PEMEX está a cargo de la exploración, distribución y comercialización de esos recursos. México ocupa el puesto dieciséis (16) a nivel mundial en generación de energía, y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la sexta compañía de energía más grande del mundo. La generación de energía a partir de fuentes de energía renovables en México se considera baja; alrededor del 16% de la energía generada proviene de estas fuentes y su contribución se ha mantenido estancada durante la última década.

México ocupa el cuarto lugar en generación de energía geotérmica en todo el mundo (958 MW). Aunque la generación de energía actual a partir de tecnologías solares es baja, tiene un alto potencial, porque México se encuentra entre los cinco países más llamativos del mundo para invertir en esta fuente renovable. La energía eólica también es una RES atractiva con un alto potencial concentrado principalmente en el estado de Oaxaca. No obstante, la energía de biomasa tiene el mayor potencial para la producción de energía, 2635 y 3771 PJ año. Por otro lado, la Ley sobre el uso de fuentes de energía renovables ya ha sido aprobada, pero todavía existen algunas barreras que no permiten que las tecnologías RES exploten su potencial; así entonces, se deberán hacer los esfuerzos para evitar una ruta energética basada en combustibles fósiles.

### **Conclusiones**

Después años de operación de la reforma energética, las estrategias de las compañías petroleras internacionales parecen responder poco a los objetivos nacionales de energía y desarrollo. La formulación de políticas energéticas seguirá siendo controvertida en México. Por un lado, las personas están convencidas de que se necesitan cambios importantes en el sector

energético más allá de la propuesta de mercado abierto de la reforma energética, y sienten que el gobierno puede estar más interesado en los beneficios de las importaciones de energía y la comercialización minorista que en los beneficios a largo plazo que esa inversión podría proporcionar.

A nivel internacional, una gran cantidad de cambios en el sector energético están a punto de modificar la trayectoria de la demanda de combustibles fósiles. Lo más importante es, sin duda, el compromiso ambiental de la mayoría de las naciones, con México como uno de los países más activos del mundo en desarrollo, para implementar la COP 21 (Acuerdo de París 2015). México se comprometió en dicha cumbre y en las siguientes (COP 22 y COP 23) a reducir el 25% de sus emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2025, y el 50% para el año 2040.

Debido a estas circunstancias, se espera que a mediados de la década de 2020 el país consuma sustancialmente menos gasolina, diésel y otros combustibles que en la actualidad, a pesar del crecimiento de la población. Por tanto, el gobierno y las compañías petroleras deben conciliar el rápido proceso de sustitución de energía iniciado a nivel internacional con el ritmo más acelerado que se espera para la exploración y explotación de petróleo y gas en el territorio mexicano, a partir del año 2025. Deben apresurar además, el desarrollo de fuentes de energía que no sean fósiles, a pesar de la inversión de CFE; así como detener la tendencia de reemplazar los combustibles fósiles por combustibles fósiles, es decir, petróleo por gas natural; reducir la dependencia de las importaciones de gas, gasolina y diésel; hacer que las empresas privadas comprendan la importancia de la política energética vinculada a la política macroeconómica, y a una verdadera política ambiental sostenible.

De otra parte, la reforma energética es indudablemente necesaria para transformar a México, pero los responsables de la formulación de políticas aún deben reconocer uno de sus grandes obstáculos: la implementación en sí misma constituye un desafío entérminos ambientales y económicos para muchos actores. La implementación adecuada de la reforma energética en el sector público debe aprovechar el poder del sectorempresarial y fomentar su alineación con los objetivos de sostenibilidad.

## Referencias

Alatorre, F. C. (2009). Renewable energies for sustainable development in México. *SENER y German Technical Cooperation, México*.

- Ambec, S.; Cohen, M.A.; Elgie, S. & Lanoie, P. (2013). The Porter hypothesis at 20: Can environmental regulation enhance innovation and competitiveness?. *Review Environmental Economics. Policy*, 7(1), 2–22.
- AMDEE. (2010). Wind energy status in Mexico. [http://amdee.org/Recursos/Wind\\_Energy\\_Status\\_in\\_Mexico](http://amdee.org/Recursos/Wind_Energy_Status_in_Mexico).
- Asociación Geotérmica Mexicana. (2013). “Geothermal Resources”. [https://geotermia.org.mx/geotermia/?page\\_id=688](https://geotermia.org.mx/geotermia/?page_id=688)
- Burchardt, J.; Gerbert, P.; Schönberger, S.; Herhold, P.; Brognaux, C. & Päivärinta, J. (27 de septiembre de 2018). *The Economic Case for Combating Climate Change*. <https://www.bcg.com/publications/2018/economic-case-combating-climate-change>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (6 de junio de 2012). Ley General de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
- Climate Action Tracker. (2019). Proyecciones de políticas actuales. <https://climateactiontracker.org/countries/mexico/policies-action/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (Marzo de 2008). Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2007. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/922>
- Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos. (2012). *Private sector perspective in reference to energy management*. <https://www.concamin.org.mx/nosotros/quienes-somos>
- CRE. (2013). Reports of the electricity sector. <https://www.cre.gob.mx/documento/3710.pdf>
- Demirbas A. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion Management*, 49(08), 2106-2116. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>
- Diario Oficial de la Federación. (24 de diciembre de 2015). Decreto por el que se expide la Ley de Transición Energética. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015)
- Diario Oficial de la Federación. (01 de octubre de 2019). Acuerdo por el que se establecen las bases preliminares del Programa de Prueba del Sistema de Comercio de Emisiones. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5573934&fecha=01/10/2019#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5573934&fecha=01/10/2019#gsc.tab=0)



- The European Photovoltaic Industry Association. (2010). *Unlocking the sunbelt potential of photovoltaics. Unlocking the sunbelt potential of photovoltaics.* (Second edition). The European Photovoltaic Industry Association. <https://dokumen.tips/documents/unlocking-the-sunbelt-potential-of-photovoltaics.html?page=1>
- Euromonitor International. (2013). *How Oil Reforms Could Trigger Mexico's Biggest Economic Boom in A Century*; London, UK.
- Euromonitor International. (2015a). *Unlocking the Energy Sector Could Transform the Mexican Economy*; London, UK.
- Euromonitor International. (2015b). *Emerging Focus: Emerging Market Economies Face Growing Environmental Problems*; London, UK.
- European Commission. (2019). EDGAR's Triple Contribution at COP22. <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>
- Forrester, J. (1995). The beginning of system dynamics. *McKinsey Quarterly*. 1, 4–17.
- GARPA. (2008). *Food and Fisheries Information Service 2008*.
- Gobierno de México. (2014). Programa Especial sobre Cambio Climático 2014-2018. Secretaría de Turismo. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/programa-especial-de-cambio-climatico-2014-2018>
- Gutiérrez, L. (2012). Update of the geothermal electric potential in Mexico. *GRC Transactions*, 36, 671-678. <https://publications.mygeoenergynow.org/grc/1030299.pdf>
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. (2010). Geographic information system for renewable energies. <http://sag01.iiie.org.mx/evaluarer/welcomeSIGER.html>
- International Renewable Energy Agency. (2015 Renewable Energy Capacity Statistics 2015. <https://www.irena.org/publications/2015/Jun/Renewable-Energy-Capacity-Statistics-2015>
- Islas, J.; Manzini, F. & Martínez, M. (2004). CO2 Mitigation Costs for New Renewable Energy Capacity in the Mexican Electricity Sector using Renewable Energies. *Solar Energy*, 76(4), 499-507. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.06.001>
- Jaffe, A. B., & Palmer, K. (1997). Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study. *The Review of Economics and Statistics*, 79(4), 610–619. <http://www.jstor.org/stable/2951413>

- Jaffe, A.B., Newell, R.G. & Stavins, R.N. Environmental Policy and Technological Change. *Environ Resource Econ*, 22(1-2), 41–70.  
<https://doi.org/10.1023/A:1015519401088>
- Lajous, A. (2014). *Mexican Energy Reform*; Center on Global Energy Policy, Columbia University: New York, NY, USA.  
[https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/CGEP\\_Adrian%20Lajous\\_Mexican%20Energy%20Reform\\_Final.pdf](https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/CGEP_Adrian%20Lajous_Mexican%20Energy%20Reform_Final.pdf)
- Levin, S.; Xepapadeas, T.; Crépin, A-S.; Norberg, J.; De Zeeuw, A.; Folke, C.; Hughes, T.; Arrow, K.; Barrett, S.; Daily, G.; Ehrlich, P., Kautsky, N., Mäler, K-G., Polasky, S., Troell, M., Vincent, J. R., & Walker, B. (2013). “Social-ecological systems as complex adaptive systems: Modeling and policy implications”. *Environment and Development Economics*, 18(2), 111-132. <https://www.jstor.org/stable/26379167>
- National Ecology Institute. (2013). *Green House Gases National Inventory 1990-2010*. First Edition (in Spanish). Mexico City, Mexico.
- Petróleos Mexicanos. (2017). Nuestro negocio. <https://www.pemex.com/nuestro-negocio/Paginas/default.aspx>
- Petróleos Mexicanos. (2018). Indicadores Petroleros. <https://www.pemex.com/Paginas/buscador.aspx?q=indicadores%20petroleros%202018>
- Pindyck, R. S. (2013). Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?. *Journal of Economic Literature*, 51(3), 860-72. DOI: 10.1257/jel.51.3.860
- PROMARNAT. (2013). *Plan de Desarrollo: Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales Gobierno de la República Mexicana*; SEMARNAT: Ciudad de México, México.
- PROMEXICO. (2012a). *Renewable Energy, Business Intelligence Unit*.
- PROMEXICO. (2012b). *Self-supply in Renewable Power. Mexico*.
- REMBIO. (2011). *Bioenergy in Mexico, current situation and outlook*. <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>
- Santiago, J. y Rodríguez, S. (05 de junio 2017). Se formalizará mercado de bonos de carbono. *El Economista*. <https://www.economista.com.mx/mercados/Se-formalizara-mercado-de-bonos-de-carbono-20170605-0099.html>
- Secretaría de Energía. (2002). *Renewable Energies in Mexico 2002*.

- Secretaría de Energía. (2003). *Electricity Sector Prospective 2003–2012*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62949/Prospectiva del Sector El ctrico  
\\_2013-2027.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62949/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2013-2027.pdf)
- Secretaría de Energía. (2011). *National Energy Balance 2011*.  
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001720.pdf>
- Secretaría de Energía. (2016). Información de finanzas públicas y deudapública enero-  
noviembre 2016.  
[http://finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/work/models/Finanzas\\_Publicas/docs/congr  
eso/fp/2016/FP\\_201\\_611.pdf](http://finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/work/models/Finanzas_Publicas/docs/congr<br/>eso/fp/2016/FP_201_611.pdf)
- Secretaría de Energía. (2017). Prospectiva del Sector Energético 2016-2030.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva de Energ as Reno  
vables\\_2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energ_as_Reno<br/>vables_2016-2030.pdf)
- Secretaría de Energía. (2018). Sistema de Información Energética. <https://sie.energia.gob.mx/>
- Secretary of Energy. (2015). *Development Program for the National Electricity System 2015-2029*  
(PRODESEN), (in  
Spanish). [http://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2016/PRODESEN-2016-  
2030.pdf](http://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2016/PRODESEN-2016-<br/>2030.pdf)
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2017). Criterios Generales dePolítica Económica  
[https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/PPEF2017/paquete/politica\\_hacendaria/C  
GPE\\_2017.pdf](https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/PPEF2017/paquete/politica_hacendaria/C<br/>GPE_2017.pdf)
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2018). Estadísticas Oportunas deFinanzas Públicas.  
[https://finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/es/Finanzas\\_Publicas/Estadisticas\\_Oportunas de  
\\_Finanzas\\_Publicas](https://finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/es/Finanzas_Publicas/Estadisticas_Oportunas_de<br/>_Finanzas_Publicas)
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Estrategia Nacional de Producción  
y Consumo Sustentable*. Gobierno de México. Ciudad de México, México.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). Carbón tax in Mexico.  
[https://www.thepmr.org/system/files/documents/Carbon Tax in Mexico.pdf](https://www.thepmr.org/system/files/documents/Carbon_Tax_in_Mexico.pdf).
- SEMARNAT. (2013). Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
(PROMARNAT) 2013 - 2018. Resumen Ejecutivo. México.  
[http://igh.com.mx/programa\\_hidrico\\_chiapas/documentos/Informacion/Programa%20Sect](http://igh.com.mx/programa_hidrico_chiapas/documentos/Informacion/Programa%20Sect)

[orial%20de%20Recursos%20Naturales%20y%20Medio%20Ambiente%20\(2013-2018\).pdf](#)

- Sheinbaum, C.; Ruiz, B.; y Ozawa, L. (2011). “Energy consumption and related CO2 emissions in five Latin American countries: changes from 1990 to 2006 and perspectives”. *Energy*, 36 (6), 3629-3638. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.07.023>
- Siew, R.Y. (2015). A Review of Corporate Sustainability Reporting Tools (SRTs). *Journal of Environmental Management*, 164, 180-195. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.010>
- Sterman, J. D. (2006). Learning from evidence in a complex World. *American journal of public health*, 96(3), 505–514. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2005.066043>
- Sullivan, R. & Sullivan, J. (2005). Environmental Management Systems and Their Influence on Corporate Responses to Climate Change. En K. Begg, F. Woerd y D. Levy (Eds), *The Business of Climate Change. Corporate Responses to Kyoto*. (1.<sup>a</sup> ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351281683>
- United Nations Framework Convención on Climate Change. (2015). Mexico Intended Nationally Determined Contributions. [http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Mexico\\_First/MEXICO\\_INDC\\_03.30.2015.pdf](http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Mexico_First/MEXICO_INDC_03.30.2015.pdf)
- US Energy Information Administration. (2017). Short Term Energy Outlook (STEO). <https://www.eia.gov/outlooks/steo/archives/jan17.pdf>
- Vidal, J.J.; Østergaard, P. & Sheinbaum-Pardo, C. (2015). Optimal Energy Mix for transitioning from Fossil Fuels to Renewable Energy Sources – The Case of the Mexican Electricity System”. *Applied Energy*, 150, 80-96. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.133>
- Wionczek, M.; Guzmán, O. y Gutiérrez, R. (1988). *Energy Policy in Mexico. Problems and Prospects for the Future*, Boulder and London: Westview Press.
- World Energy Council. (2017). Changing Dynamics—Using Distributed Energy Resources to Meet the Trilemma Challenge. *World Energy Trilemma*. <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-2017-changing-dynamics-a-using-distributed-energy-resources-to-meet-the-trilemma-challenge>