

Beneficios socioambientales derivados de la eficiencia energética en el sector industrial mexicano*

Socio-Environmental Benefits Derived from Energy Efficiency in the Mexican Industrial Sector

*Edgar Roberto Sandoval García** y Rosa Laura Patricia Edith Franco González****

RESUMEN

El consumo de energía del sector industrial representó el 35 por ciento del total neto del país en 2017. Dicho sector contribuye con aproximadamente un tercio del PIB nacional. Dada la importancia de la energía y su uso eficiente para el desarrollo sostenible, México definió como meta de eficiencia energética el reducir en 1.9 por ciento la intensidad energética de forma anual durante el periodo 2016-2030. Con la intención de identificar el potencial de los beneficios socioambientales derivados del cumplimiento de la meta de eficiencia energética en términos de reducción de emisiones de carbono y creación de empleos, este estudio propone un análisis cuantitativo de información relacionada al desempeño del sector industrial y la proyección tendencial del consumo energético, con lo cual es posible cuantificar valores potenciales de reducción de carbono del orden de 84.5 Mt CO₂ y la creación de 561,559 empleos de forma anual al 2030.

Palabras clave: Beneficios socioambientales, eficiencia energética, sector industria.

Clasificación JEL: J2, Q4.

ABSTRACT

The energy consumption of the industrial sector represented 35% of the country's net total in 2017. This sector contributes approximately one third of the national GDP. Given the importance of energy and its efficient use for sustainable development, Mexico has proposed the energy efficiency goal of reducing energy intensity by 1.9% annually during the 2016-2030 period. To identify the potential of the socio-environmental benefits of reaching the energy efficiency goal in terms of reducing carbon emissions and creating jobs, this study is based on a quantitative analysis of information related to the industrial sector performance and energy consumption trend projection, which led to quantifying potential values of carbon reduction of 84.5 Mt CO₂ and the creation of 561,559 jobs annually by 2030.

Keywords: Socio-environmental benefits, energy efficiency, industrial sector.

JEL Classification: J2, Q4.

* Fecha de recepción: 27/01/2020. Fecha de aceptación: 04/12/2020.

** Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, México. E-mail: rsandovalvg75@tesci.edu.mx. ORCID: 0000-0001-7379-1710.

*** Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, México. E-mail: p.franco.ige@tesci.edu.mx. ORCID: 0000-0002-0465-3100.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el sector industrial representa más de la mitad del consumo total de la energía demandada (EIA, 2017). En México, la industria ha representado cerca de un tercio del consumo energético final durante los últimos 20 años. Al 2017, el consumo de energía representó el 35 por ciento del total del consumo neto del país o 1,876.65 PJ (SIE, 2019).

En términos de la economía nacional, la industria contribuye con aproximadamente un tercio del PIB nacional. Por acuerdo internacional, el sector industrial es aquel que lleva a cabo la fabricación de bienes y productos acabados y se concentra en el rubro de las industrias manufactureras (Cepal, 2018).

Por otra parte, derivado de los acuerdos asumidos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y lo dispuesto en la Ley General de Cambio Climático, en 2015 México se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 22 por ciento al año 2030 a través de diferentes medidas representadas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (INDC's, por sus siglas en inglés).

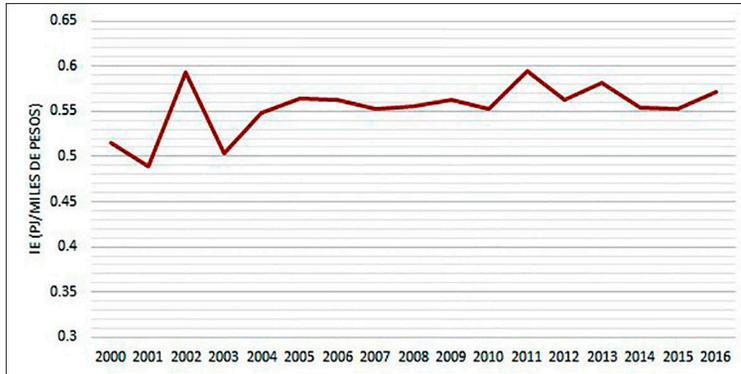
En específico para el sector industria, México se comprometió a reducir en 4 por ciento sus emisiones de GEI, al disminuir de 202 Mt CO₂e a 194 Mt CO₂e al 2030 respecto a la línea base de 2013, así como reducir en 49 por ciento las emisiones de carbono negro, al disminuir de 80 mil toneladas métricas a 41 mil toneladas métricas al mismo año. Siendo las principales medidas propuestas: la eficiencia energética, la sustitución de combustibles pesados por gas natural, energías limpias y biomasa, así como el control de partículas negras de hollín (Semarnat, 2015).

Dada la importancia de la energía y su uso eficiente para garantizar el empleo, la seguridad, la mitigación del cambio climático, la producción de alimentos o para aumentar los ingresos, acorde a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (UN, 2015), en años recientes México propuso que, a través del Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (Pronase), se estableciera, con carácter indicativo, la meta de Eficiencia Energética (Artículo 11) (DOF, 2015).

Así, en base a la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios mencionada en el Pronase 2014-2018 (Sener, 2014), se plantea que la meta nacional de Eficiencia Energética (EE), expresada en términos de su inverso: la intensidad energética (cantidad de energía requerida para producir una unidad de valor económico), para los sectores transporte, industria, edificios y agropecuario, deberá reducirse en 1.9 por ciento anual en el periodo 2016-2030 y 3.7 por ciento durante el periodo 2031-2050, lo que permitiría un ahorro potencial de 40 por ciento del consumo nacional de energía al 2050, siendo la principal acción propuesta para el sector industrial, la sustitución de equipos por aquellos de alta eficiencia.

En este sentido, acorde a información disponible en la Base de Indicadores de EE (BIEE) (2019), es posible estimar que durante el periodo 2000-2016 la intensidad energética de la industria manufacturera ha mostrado un comportamiento incremental (gráfica 1), al pasar de 0.514 PJ/miles de pesos a 0.571 PJ/miles de pesos [2013], lo que representa un crecimiento del 11.1 por ciento.

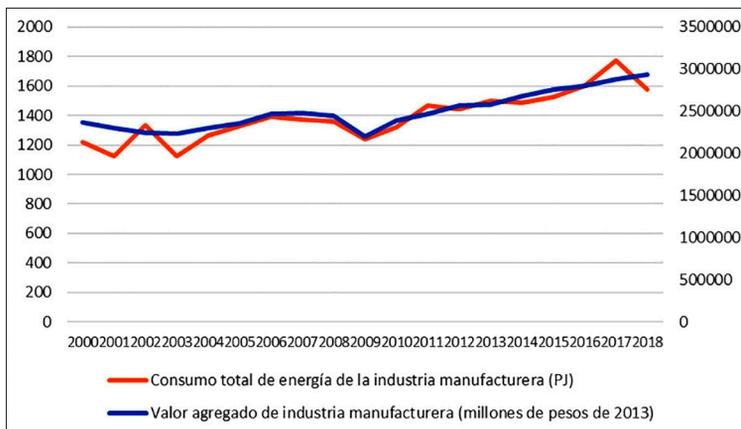
Gráfica 1. *Intensidad energética del sector industria nacional, 2000-2016.*



Fuente: elaboración propia con base a datos de BIEE (2019).

De hecho, en el mismo periodo es posible estimar una correlación de 0.903 entre el valor agregado de la industria manufacturera y el consumo energético relacionado (gráfica 2).

Gráfica 2. *Correlación del valor agregado de la industria y el consumo energético.*



Fuente: elaboración propia con base a datos de BIEE (2019).

Dado lo anterior, surge la pregunta que trata de responder esta propuesta de investigación: ¿Cuál es el potencial de los beneficios socioambientales, en términos de reducción de emisiones de carbono y generación de empleos, derivado del cumplimiento de la meta nacional de EE en el sector industrial al año 2030?

A lo cual se anticipa que el cumplimiento en la reducción de la intensidad energética permitiría el cumplimiento de la meta de reducción de emisiones de carbono del sector industrial al 2030 y un aporte considerable en la generación de empleos, coadyuvando así a los siguientes ODS: 7-Energía asequible y no contaminante, 8-Trabajo decente y crecimiento económico, 9-Industria, innovación e infraestructura y 13-Acción por el clima.

Estudios previos han demostrado, mediante modelado econométrico, que en el caso de España (Medina, Cámara y Monrobel, 2016) y Canadá (DUNSKY, 2018), la implementación de la EE en la demanda a nivel país podría provocar una reducción del 1.8 por ciento en las emisiones de carbono y la creación de 147,745 empleos de tiempo completo-equivalentes anuales, en el primer caso y en el segundo caso, a una reducción de 52 megatoneladas de CO₂e y la creación de 118,000 empleos de tiempo completo-equivalentes anuales, ambos al año 2030.

Al ser entendida como un recurso energético, la EE tiene la capacidad de contribuir a la seguridad energética y a la resiliencia del sistema, al crecimiento económico, así como a la mejora de la salud y el bienestar (IEA, 2015, citado por Vaca y Kido, 2020).

Para identificar los beneficios reales de la EE y las herramientas adecuadas para evaluar el riesgo de inversión en medidas que la promuevan, es importante alinear el análisis de ingeniería y el análisis económico, dado que con el primero es factible determinar los potenciales ahorros y las inversiones necesarias para obtenerlos y, con el segundo, se analizan las diferentes opciones de inversión y se selecciona la que representa la mejor relación riesgo/rendimiento (Salazar, Pamplona y Vidal, 2012).

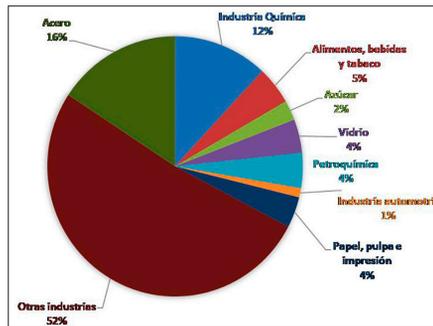
Así, con el principal objetivo de identificar el potencial de los beneficios socioambientales, en términos de reducción de emisiones de carbono y creación de empleos derivados del cumplimiento de la meta de EE al 2030 en el sector industrial mexicano, este estudio propone de manera inicial, un análisis de la intensidad energética de la industria manufacturera, la comparación a nivel internacional del desempeño de la industria mexicana en términos de EE y la obtención de datos prospectivos referentes a la demanda nacional de combustibles en el sector industria.

Posteriormente, a través de un análisis cuantitativo de información disponible de diversas instituciones gubernamentales relacionadas a la gestión energética, cámaras industriales, entre otras fuentes, se evalúa la demanda energética tendencial y se ajusta por el valor propuesto de meta de EE al 2030. La información así calculada, permitirá que, en la sección de Resultados y Discusión, se puedan estimar las emisiones de CO₂ a ser evitadas por estrategias de EE en el sector industrial, así como calcular los posibles empleos a generarse entre el 2016 y el 2030.

Análisis de la intensidad energética de la industria manufacturera nacional

Durante 2016, el sector industria demandó 1,600 Petajoules (PJ) de energía, siendo la industria del acero, seguida por la industria química, las industrias que de manera individual consumieron más energía (gráfica 3).

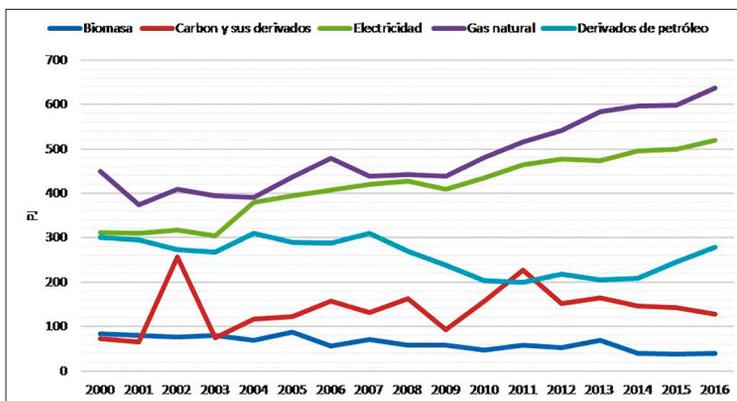
Gráfica 3. Participación en el consumo energético por tipo de industria.



Fuente: elaboración propia con base a datos de BIEE (2019).

En cuanto al consumo por tipo de energético, en los últimos años, el gas natural y la electricidad han sido la fuente de energía principal que sustenta a la industria de la manufactura, con una participación en 2016 del 39.8 por ciento y 32.4 por ciento respectivamente (gráfica 4).

Gráfica 4. Consumo por tipo de energético del sector industria.



Fuente: elaboración propia con base a datos de BIEE (2019).

Se debe reconocer que, derivado de la apertura comercial y la globalización, la matriz energética de la industria nacional se ha modificado, de industrias de intensidad energética alta y media que predominaban en la década de 1990 a industrias más eficientes y/o con baja intensidad energética.

En general, la industria mexicana es cada vez menos intensiva en el consumo de energía. En términos de segmentos individuales, en el cuadro siguiente se muestra la variación de intensidad energética (IE) de cada subsector durante el periodo 1990-2015.

Cuadro 1. Variación de la IE por tipo de industria en el periodo 1990-2015 y causas principales.

Industria	Variación en IE	Motivo principal
Hierro y el acero	-45.3 %, al reducir de 0.53 a 0.29 tep/ton de acero crudo (1990-2015)	Incremento en la participación del horno de arco eléctrico de 57 % a 70.3 %.
Química	-32.1 %, al reducir de 0.28 a 0.19 tep/ton (2000-2015)	Baja en la producción de Pemex Petroquímica, pérdida de competitividad del ramo industrial, el gas natural representa el 80 % del consumo total de energía de la industria química.
Cemento	-11.67 %, al pasar de 0.096 a 0.0848 tep/ton	Estrategia de sustitución del combustóleo por la utilización de coque de petróleo y combustibles alternativos (como llantas, solventes y aceites, entre otros), así como mejoras en los quemadores.
Celulosa y papel	-19.6 %, al pasar de 0.276 tep/ton a 0.222 tep/ton (1995-2015)	Mayor eficiencia en los procesos productivos derivada de diferentes estrategias (sustitución de combustóleo por gas natural, impulso a la cogeneración y el mayor reciclaje de papel).
Vidrio	-15.5 %, al pasar de 0.328 tep/ton en 2007 a 0.277 tep/ton en 2015	La industria ha mejorado su tecnología para optimizar los procesos de fundición y refinamiento, lo que ha permitido disminuir el uso de combustibles.
Automotriz	+2.8 %, al pasar de 0.107 tep/vehículo producido en 2000 a 0.110 tep/vehículo producido en 2015	Al privilegiar las actividades de ensamblado e incrementar la producción de vehículos en 86.3 % entre 2000 y 2015, la electricidad se convirtió en el principal energético. Al cierre de 2015 el consumo de electricidad alcanzó el 56 % del total de esta industria.
Alimentos, bebidas y tabaco	-67.9 %, al pasar de 8.4 tep/MM\$ a 2.7 tep/MM\$ [2008]	Avance tecnológico.
Azucarera	-78 % al pasar de 0.685 a 0.151 tep/ton	Sustitución paulatina de combustóleo por el bagazo de caña.

Fuente: elaboración propia en base al Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de México, Cepal (2018). Tonelada equivalente de petróleo (TEP).

Evaluación del desempeño de la industria nacional en términos de eficiencia energética

La cuarta edición del Estudio Internacional de Calificación de EE publicado por ACEEE (2018) examina las políticas de eficiencia y el desempeño de 25 de los principales países consumidores de energía en el mundo. En conjunto, tales naciones representan el 78 por ciento de todo el consumo energético en el planeta y más del 80 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) mundial en 2014. El estudio utiliza 36 métricas para evaluar el compromiso nacional de cada país con la EE, así como sus políticas de eficiencia y rendimiento en los sectores de edificios, industria y transporte.

En términos generales, México fue uno de los países con mejor desempeño durante el 2017, logrando un puntaje de 54, esto es 17 puntos más con respecto al 2016, alcanzando la posición número 12.

En específico para el sector industria, el estudio evalúa la intensidad energética y la existencia de políticas y buenas prácticas para mejorarla, incluidos los acuerdos voluntarios para aumentar la eficiencia industrial, los mandatos nacionales para los administradores del consumo energético, las auditorías energéticas en grandes instalaciones y la inversión en investigación y desarrollo (I+D) específico de la industria. En este rubro, México obtuvo la posición número 6 con 17.5 de 25 puntos.

Lo anterior ratifica un buen desempeño de intensidad energética (menor o igual a 2,654 Joules por cada dólar de PIB industrial), sin embargo, quedan evidenciado las siguientes áreas de oportunidad para poder alcanzar un mejor desempeño del sector:

1. Una forma en que los gobiernos nacionales pueden mejorar la EE en las industrias es alentando la implementación de sistemas de gestión de energía (ENMS, por sus siglas en inglés). El propósito de un estándar ENMS es proporcionar orientación a las instalaciones industriales y comerciales para integrar la EE en sus prácticas de gestión, incluyendo el ajuste de los procesos de producción y la mejora de los sistemas industriales. Al obtener México sólo un punto en este rubro significa que es un país con una política nacional que impulsa el uso de ENMS, pero se tiene menos de 500 plantas industriales certificadas en ISO 50001. De hecho, a 2016 México contaba sólo con 16 establecimientos certificados de 5,018 establecidos (Inegi, 2019) a diferencia de las 9,024 certificaciones en el país líder en este rubro, Alemania.
2. Los sistemas de generación combinada de electricidad y energía térmica útil o cogeneración (CHP, por sus siglas en inglés) son sistemas integrados más eficientes que la generación separada de energía térmica y electricidad porque el calor que normalmente se desperdicia en la generación de energía convencional se recupera para satisfacer las demandas térmicas. Además,

como medida de eficiencia industrial, sería de mayor utilidad la participación de la cogeneración industrial en el consumo de electricidad industrial. Países donde el CHP representa al menos el 35 por ciento de su capacidad instalada recibieron dos puntos. En México, el CHP sólo representa el 0.78 por ciento de la capacidad instalada para la generación de energía en el sector industrial, a diferencia del país líder, Rusia, con 57.79 por ciento de CHP en la capacidad instalada.

3. Respecto a la adopción de políticas y otras medidas regulatorias que promuevan el despliegue de sistemas CHP, México cuenta con políticas de apoyo, como incentivos establecidos, pero carece de una meta nacional para el despliegue de CHP.
4. La EE debe ser un apartado importante de las inversiones de I+D, al reducir ampliamente el mal uso y mejorar la productividad. Idealmente se debería tener un nivel de inversión en I+D igual o superior al 8 por ciento del PIB industrial. En 2015, México invirtió sólo el 0.48 por ciento del PIB nacional.

Datos prospectivos de la demanda energética del sector industria al 2030

Acorde a Sener (2017a), la demanda de gas natural pasará de 1,484.1 millones de pies cúbicos diarios (mmpcd) en 2016 a 1,964.1 mmpcd en 2031, representando el 64.4 por ciento de la demanda total de combustibles fósiles en este sector. Esto significa un incremento del 32.4 por ciento. La variación de otros combustibles fósiles se muestra a continuación (cuadro 2).

Cuadro 2. *Demanda nacional estimada de combustibles fósiles en el sector industrial, 2016-2030 (mmpcdgne).*

Año	Gas Natural	Combustóleo	Gas L.P.	Diésel	Coque de petróleo	Carbón
2016	1,484.1	84.9	122.6	152.5	362.9	379.0
2030	1,964.1	0	118.6	181.5	397.2	382.3
Variación (%)	32.34	-3.54*	-3.3	19.02	9.5	0.87

* Variación porcentual promedio estimada de los derivados del petróleo.

Respecto a la generación de energía eléctrica nacional, en el 2016 ésta se ubicó en 319,364 GWh de los cuales el 79.7 por ciento provino de tecnologías convencionales y el 20.3 por ciento de tecnologías limpias. Para 2030, la generación se incrementará 39.09 por ciento para ubicarse en 444,206 GWh, de los cuales, aproximadamente 54 por ciento provendrá de tecnologías convencionales y el restante será de tecnologías limpias (Sener, 2017b).

En el tema de la bioenergía, su participación en la matriz de generación eléctrica fue del 0.46 por ciento en 2016, equivalente a 1,471 GWh, de los cuales 1,276.4 GWh corresponden a bagazo de caña y 194.8 GWh a biogás. Al 2030, se prevé una mayor participación de la bioenergía en la matriz de generación eléctrica al generar 12,669 GWh, lo que representa un incremento de 9.9 veces (Sener, 2017c).

I. METODOLOGÍA

Esta investigación es de tipo documental, no experimental y aplicada, al contribuir a problemas específicos, relacionados con el objeto de estudio. Siendo el alcance de investigación de carácter exploratorio, correlacional y explicativo al intentar establecer las causas de los fenómenos que se estudian (Ortiz-García, 2006).

Con el principal objetivo de identificar el potencial de los beneficios socioambientales, en términos de reducción de emisiones de carbono y creación de empleos derivados del cumplimiento de la meta de EE al 2030 en el sector industrial mexicano, esta propuesta aplica una metodología cuantitativa simple basada en la proyección tendencial de datos y el análisis cuantitativo de información relacionada al desempeño del sector industrial.

Como primer paso se realiza un análisis sectorial incluyendo la estimación del valor de intensidad energética al 2030 de cada subsector industrial. Posteriormente, a través de un estudio de la información disponible de diversas instituciones gubernamentales relacionadas a la gestión energética, cámaras industriales, entre otras fuentes, se evalúa la demanda energética tendencial y se ajusta por el valor propuesto de meta de EE al 2030, estimando así el ahorro energético total del sector industrial.

La información así calculada es traducida, por medio de factores de conversión y un escenario supuesto, a términos de emisiones de CO₂ a ser evitadas por estrategias de EE y posibles empleos a generarse entre el 2016 y el 2030.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

II.1. *Análisis sectorial*

Con la intención de determinar la reducción en el consumo energético del sector industrial al año 2030, inicialmente se obtuvieron los datos de consumo de energía por tipo de fuente al año 2016 disponibles en BIEE (2019). Posteriormente, mediante un factor de crecimiento tendencial (FCT) obtenido de los datos prospectivos de crecimiento de demanda por tipo de energético (Sener, 2017a, 2017b y 2017c), se calculó el consumo tendencial al 2030 (cuadro 3).

Cuadro 3. *Consumo energético tendencial*
 tomando como línea base el consumo de 2016.

Consumo de Energía (PJ)	Biomasa	Carbón	Electricidad	Gas natural	Derivados del petróleo ^(b)	Total
2016	38.2	127.3	518.7	637.3	278.2	1,600.4
^(a) Fct		1.01	1.391	1.319	0.965	
2030 (tendencial)	46.2	128.6	721.5	841	268.3	2,005.6

(a) Factor de crecimiento tendencial al 2030, (b) datos promedio del consumo del gas LP, diésel, coque de petróleo y combustible.

En específico, para la energía proveniente de la biomasa, dado que su consumo corresponde sólo al sector azucarero, para determinar el crecimiento tendencial se realizó un estimado en base a la regresión lineal de los datos de producción de azúcar en el periodo 2000-2016, el cual paso de 4.5 a 6.1 millones de toneladas (BIEE, 2019), obteniéndose así un valor de 7.38 millones de toneladas al 2030. Dato que se multiplicó por un valor promedio de intensidad energética de los años 2014, 2015 y 2016 de 6.27E-06 PJ/ton (en el periodo 2000-2013 se tiene un valor promedio de intensidad energética de 1.56E-05 PJ/ton debido al uso del combustible como principal fuente de energía), obteniéndose así un consumo tendencial al 2030 de 46.2 PJ.

Para poder estimar el efecto de aplicar la meta nacional de reducir la intensidad energética de la industria manufacturera en 1.9 por ciento anual al 2030, se procede a realizar un análisis por tipo de industria para determinar el valor de intensidad energética en 2016 (IE_{2016}) y el nuevo valor ajustado al 2030 (IE_{2030}), determinando así el consumo energético por tipo de fuente.

Para el cálculo de la IE_{2016} se ocupó la siguiente ecuación e información disponible en BIEE (2019) referente a la energía consumida (PJ), así como datos de producción del producto final (en toneladas o número de vehículos o valor agregado en el caso de la industria alimenticia en millones de pesos) de diferentes fuentes.

$$IE = \frac{\text{consumo energético}}{\text{volumen de la actividad económica}} \quad (1)$$

A este nuevo valor de IE_{2016} se le aplicó una tasa de reducción del 1.9 por ciento anual para calcular la IE_{2030} .

Este nuevo valor de IE_{2030} se multiplicó por el valor de crecimiento tendencial de la producción, obtenida a partir del cálculo de la tasa anual de crecimiento compuesta (CAGR, por sus siglas en inglés), obteniéndose así un nuevo valor de demanda energética a 2030 (ajustada por meta de eficiencia energética).

$$CAGR = (Vf / Vi) \frac{1}{\text{no. años}} - 1 \quad (2)$$

Finalmente se obtiene el ahorro en el consumo de energía por tipo de industria al restar el valor de la energía estimada de manera tendencial al 2030 menos el valor de energía ajustada por meta de eficiencia energética. Cabe aclarar que en esta propuesta se hace el supuesto de que la participación por fuente de energía por tipo de industria permanece constante entre el 2016 y el 2030.

Industria del acero

Acorde con Canacero (2019), México es el 14° productor de acero a nivel mundial. La industria acerera representa el 2.1 por ciento del PIB nacional, 7.1 por ciento del PIB industrial y 13.1 por ciento del PIB manufacturero, teniendo como principales aplicaciones el sector de la construcción, seguido de productos metálicos y el automotriz. Así mismo, la industria siderúrgica emite 1.11 toneladas de CO₂ por tonelada de acero producido.

Durante el periodo 2012-2016, en promedio el 71.9 por ciento de la producción del acero provino de hornos eléctricos. En 2016 se produjeron 18.8 millones de toneladas de acero crudo utilizando 242.75 PJ de energía (1.29E-5 PJ/ton), siendo el gas natural la principal fuente de energía con el 63.4 por ciento, seguido del carbón con 26.2 por ciento, la electricidad con 8.5 por ciento y los derivados del petróleo con dos puntos porcentuales (BIEE, 2019). Tomando como referencia el valor de IE de 2016 de 1.29E-5 PJ/ton y aplicando la tasa de reducción de 1.9 por ciento anual, se estima que la IE a 2030 debería ser de 0.986E-5 PJ/ton.

Dado que entre 1990 y 2016, la producción de acero ha crecido a una tasa anual acumulada de 2.99 por ciento (BIEE, 2019), se prevé que, de seguir dicho crecimiento tendencial, a 2030 se estarían produciendo 28,463,490.15 ton, lo cual requeriría de 280.6 PJ (utilizando el recién valor calculado de IE₂₀₃₀). En 2016 la participación de las diferentes fuentes de energía para el sector fue: gas natural 63.4 por ciento, carbón 26.2 por ciento, electricidad 8.5 por ciento y petrolíferos con 2 por ciento.

Industria química

Desde un valor mínimo de producción en 2003 de 12,367 millones de dólares, la industria química en México alcanzó un incremento de más del 65 por ciento en 2018 al lograr un valor de la producción de 20,430 millones de dólares, incrementando así su participación en el PIB nacional del 1 al 2.1 por ciento en el mismo periodo (ANIQ, 2019).

Respecto al valor de la producción de la industria química nacional en toneladas, en el periodo de 2000 a 2015, ésta ha sido en promedio de 21 millones de toneladas anuales, con un máximo de producción de 24,577 miles de toneladas

de químicos producidos en 2014. Derivado del impacto por el desabasto de materias primas e insumos energéticos, se ha inhibido la inversión y el desarrollo de la industria privada, razón por la cual la contribución al PIB de esta industria se ha inmovilizado (Cepal, 2018). Dado el lento desarrollo de la industria química en México, se parte del supuesto de que entre 2016 y 2030 el promedio de la producción se mantendrá en 21 millones de toneladas anuales.

Por otra parte en base a datos de BIEE (2019), en 2016 la industria química consumió 251.69 PJ de energía, valor que al dividirlo entre la producción estimada a 2016 se obtiene una IE_{2016} de $1.199E-5$ PJ/ton, valor que, al ser afectado por la tasa de reducción de 1.9 por ciento, es posible proyectar que el valor de IE_{2030} sería de $0.916E-5$ y así calcular el valor de energía necesaria para producir 21 millones de toneladas de 192.41 PJ. En 2016, las diferentes fuentes de energía participaron de la siguiente forma: electricidad 11.5 por ciento, gas natural 81.3 por ciento y petrolíferos 7.3 por ciento.

Industria del cemento

Desde 2005 hasta 2015, la industria ha estado controlada por seis empresas que poseen alrededor de 37 plantas. En 2017 la industria generó 86 mil empleos directos; sin embargo, su participación en el PIB fluctúa alrededor del 1 por ciento (Vázquez y Corrales, 2017).

Durante el 2016, la industria produjo 46,188,625 toneladas de cemento utilizando 164.92 PJ de energía ($3.57E-6$ PJ/ton). Con un $CAGR_{2000-2016} = 2.1$ por ciento, se estima que la producción de cemento incremente a 61,615,340.5 toneladas al 2030.

Al calcular el nuevo valor de $IE_{2030} = 2.73E-6$ PJ/ton, se puede estimar que el consumo energético debería ser del orden de 168.2 PJ en 2030 con el siguiente portafolio energético: petrolíferos 78.4 por ciento, electricidad 11.3 por ciento, gas natural 6.1 por ciento y carbón 4.1 por ciento.

Industria de celulosa y papel

Acorde a información disponible de la Cámara del Papel (2019), el valor de mercado del sector papelerero y sus productos derivados es de \$13,316 millones de dólares anuales. Lo anterior equivale al 1.8 por ciento del PIB manufacturero y el 1.0 por ciento del PIB industrial. Actualmente la industria está implementando sistemas de autogeneración de energía eléctrica, donde se tiene un avance de más del 20 por ciento en el sector.

A finales del 2016 la producción conjunta de papel y celulosa sumaron 5,763,785 toneladas, para lo cual se requirió de 59.41 PJ ($1.03E-5$ PJ/ton), distribuido en las siguientes fuentes de energía: gas natural 59.6 por ciento, petrolíferos

20.3 por ciento y electricidad 20.1 por ciento. Se estima que al 2030 la IE sea del orden de $7.88\text{E-}6$ PJ/ton. Con un $\text{CAGR}_{2000-2016} = 1.6$ por ciento la producción de papel y celulosa se podría incrementar hasta 7,186,839.72 toneladas, lo que representaría una demanda energética de 56.63 PJ.

Industria del vidrio

Entre 2007 y 2016 la producción de vidrio creció con un CAGR de 3.7 por ciento, al pasar de 3.4 a 4.8 millones de toneladas. En 2016 se requirió de 64.33 PJ de energía, lo que implicó una IE de $1.35\text{E-}5$ PJ/ton. Derivado de lo anterior, se estima que a 2030 la IE sería de $1.03\text{E-}5$. Respecto a la proyección de producción a 2030 se estima se incremente de 4.8 a 7.9 millones de toneladas, lo cual significaría un consumo de energía al 2030 de 81.63 PJ proveniente del gas natural (90.9 por ciento), electricidad (7.5 por ciento) y petrolíferos (1.6 por ciento).

Industria automotriz

La industria automotriz está compuesta por la fabricación de automóviles y camiones, la fabricación de carrocerías y remolques, y la fabricación de partes para vehículos automotores. Entre 2010-2017 el PIB de la fabricación de automóviles y camiones registró un crecimiento promedio anual de 12.9 por ciento y la fabricación de partes para vehículos automotores de 11.9 por ciento. En conjunto, la industria automotriz creció 12.3 por ciento cada año, acrecentando su importancia en el PIB nacional al pasar de representar 1.6 por ciento en 1993 a 3.7 por ciento en 2017. El PIB de la industria automotriz también aumentó su presencia en las manufacturas, al pasar de 8.4 por ciento en 1993 a la quinta parte en 2017 (Inegi, 2018).

Así mismo, la industria automotriz es fuente importante en la generación de empleos al crear entre 2014 y 2017 uno de cada cinco empleos en las industrias manufactureras. Durante 2016 la industria automotriz produjo 3,619,703 vehículos para lo cual requirió de 17.39 PJ de energía, cuyo origen fue: electricidad 55.3 por ciento, gas natural 35.1 por ciento y petrolíferos 9.6 por ciento. Por lo anterior se estima una IE_{2016} de $4.8\text{E-}6$ PJ/vehículo, valor que al afectarse por la meta de EE a 2030 se obtiene una $\text{IE}_{2030} = 3.67\text{E-}6$. Derivado de un $\text{CAGR} = 4.01$ por ciento estimado entre 2000 y 2016, se proyecta que a 2030 se estarían fabricando 6,283,246 vehículos, los cuales requerirían 23.08 PJ de energía.

Industria de alimentos y azúcar

La industria alimentaria nacional representa más del 23 por ciento del PIB de la industria manufacturera, y más del 3.69 por ciento del PIB nacional. La industria está compuesta por nueve subsectores, incluido la elaboración de azúcares. El subsector que más contribuye a la industria alimentaria es el de panadería y elaboración de tortillas. La producción de carne roja y blanca representa el 22 por ciento del PIB alimentario, y la producción de lácteos, el 10 por ciento (CIAL Dun & Bradstreet, 2018).

Durante el 2016, el valor agregado de la industria alimentaria fue de 794,648.13 millones de pesos, lo cual demandó 72.73 PJ de energía ($IE_{2016} = 9.15E-5$ PJ/M\$), energía que provino de la biomasa (45.6 por ciento), gas natural (25.8 por ciento), electricidad (16.5 por ciento) y petrolíferos (12.1 por ciento). Al 2030 se estima una $IE = 6.99E-5$ PJ/M\$.

Al estimar un CAGR del 2.1 por ciento durante el periodo 2000-2016, se estima que el valor agregado de la industria alimentaria al 2030 sería de 1,059,530.54 millones de pesos, lo cual demandaría 74.14 PJ de energía.

Derivado de la información analizada previamente por tipo de industria, en el siguiente cuadro se muestra la demanda de energía ajustada por la meta de EE al 2030, por tipo de fuente.

Cuadro 4. Demanda de energía ajustada por la meta de eficiencia energética al 2030, por tipo de fuente (PJ).

	Electricidad	Carbón	Gas natural	Petrolíferos	Biomasa	Total
Acero	23.8	73.4	177.8	5.6	0.0	280.6
Industria química	22.1	0.0	156.3	14.0	0.0	192.4
Cemento	19.0	7.0	10.3	131.9	0.0	168.2
Celulosa y papel	11.4	0.0	33.8	11.5	0.0	56.6
Vidrio	6.1	0.0	74.2	1.3	0.0	81.6
Automotriz	12.8	0.0	8.1	2.2	0.0	23.1
Alimentos y azúcar	12.3	0.0	19.1	8.9	33.8	74.1
Total						876.7

Fuente: elaboración propia.

Tales valores de energía ajustada se contrastan con los valores tendenciales de consumo energético al 2030, lo cual genera un diferencial de energía. Diferencial que significa el potencial de ahorro energético (56.3 por ciento) derivado del cumplimiento de la meta de EE planteada al 2030 (cuadro 5).

Cuadro 5. *Potencial de ahorro energético derivado del cumplimiento de la meta de EE planteada al 2030 (PJ).*

Demanda energética al 2030 (PJ)	Escenario Tendencial	Escenario ajustado por EE	Diferencial (PJ)
Electricidad	721.5	107.4	614.1
Carbón y sus derivados	128.6	80.4	48.2
Gas natural	841.0	479.7	361.3
Petrolíferos	268.3	175.4	92.9
Biomasa	46.2	33.8	12.4
Total	2,005.6	876.7	1,128.9

Fuente: elaboración propia.

II.2. *Potencial de reducción de emisiones de CO₂*

Con la finalidad de obtener el potencial de reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) derivado del cumplimiento de la meta de EE al 2030 (reducir en 1.9 por ciento la IE_{industria}), el diferencial energético (1,128.9 PJ), obtenido en la sección anterior, se multiplica por los factores de emisiones por tipo de fuente de energía considerados por la Secretaría de Energía (Sener, 2017b y CRE, 2017).

En el caso del consumo eléctrico, dado que sus emisiones son consideradas desde su generación en el sector eléctrico, se considera como fuente de energía cero emisiones para el sector industrial. Así mismo, la biomasa se considera como una fuente neutral de emisiones de carbono (EIA, 2019). En el cuadro siguiente se muestra el desglose de información para la estimación de emisiones de CO₂ a ser evitadas por concepto de EE en la industria manufacturera.

Cuadro 6. *Emisiones de CO₂ a ser evitadas por concepto de EE en la industria manufacturera.*

Fuente de energía	PJ	MWh*	Factor de emisiones (ton CO ₂ /MWh)	MtCO ₂
Electricidad	614.1	170,583,334.70	0.582	0
Carbón y sus derivados	48.2	13,388,889.00	0.8187	10.96
Gas natural	361.3	100,361,111.91	0.5255	52.74
Petrolíferos	92.9	25,805,555.76	0.8057	20.79
Biomasa	12.4	3,444,444.47	0	0
Potencial de reducción de emisiones (Mt CO ₂)				84.5

* 1pj= 277,777.78 mwh.

Así el potencial estimado de reducción de emisiones sería de 84.5 Mt CO₂ al 2030.

II.3. *Potencial de generación de empleos*

Durante el primer trimestre de 2020 la industria manufacturera generó una población ocupada de 9.1 millones, donde el 62.2 por ciento corresponde a hombres y el 37.8 por ciento a mujeres (Secretaría de Economía, 2020).

Para estimar el potencial de empleos a ser generados derivados del ahorro energético por medidas de EE se parte de tres factores clave: el precio de la electricidad que dejaría de adquirir el sector industria, el costo nivelado de generación de la capacidad (MW) a dejar de ser instalada y el salario promedio de la industria manufacturera.

Dado que, para el sector industrial el precio de la electricidad ha tenido un crecimiento de 2.9 por ciento en el periodo 2006-2016, al incrementarse el precio medio de 1.1 pesos/kilowatt hora a 1.3 pesos/kilowatt hora (0.073 dólares/kwh, dado un tipo de cambio promedio de 17.79 mxn/dólar¹) (Sener, 2017b), el evitar consumir 170,574.6 Gwh de electricidad al 2030, representa dejar de pagar 15,749 millones de dólares, al proyectar un precio de venta de electricidad de 0.073 a 0.0923 dólares/kwh mediante un $CAGR_{2006-2016} = 1.7$ por ciento.

Referente a la energía proveniente del carbón, gas natural, petrolíferos y biomasa, dada la limitada disponibilidad de información, este estudio considera el valor del costo nivelado de generación de energía (considera la variación en el tiempo de los costos de combustible, costos de inversión, costos de operación y mantenimiento) de la tecnología de combustión interna (1,134,085.9 dólares/MW-año), estimado en 2018 por el Centro Nacional de Control de Energía (Cenace) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE).

Al ser una tecnología con un factor de planta² de 0.7, la tecnología de combustión interna satisface de manera homóloga las necesidades inmediatas y de largo plazo de acceso a energía por parte del sector industrial. Para estimar el costo nivelado de generación al 2030, se ocupó la fórmula de interés compuesto (ecuación 3), en donde el valor presente (VP), es el costo nivelado de 2018, la tasa de interés mínima es el valor supuesto de inflación de 4.28 por ciento (promedio del periodo 2008-2018 acorde al Banco de México) y un periodo (n) de 12 años. Obteniéndose así un costo nivelado de generación al 2030 de 1,874,265.19 dólares/MW-año.

$$VF = VP * (1 + r)^n \quad (3)$$

¹ Sistema de información económica. Tipo de cambio diarios, en página web de Banco de México.

² El factor de planta (también llamado factor de capacidad neto o factor de carga) de una central eléctrica, es el cociente entre la energía real generada por la central eléctrica durante un periodo (generalmente de forma anual) y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo periodo, conforme valores nominales placa de identificación de los equipos.

Referente al cálculo de la capacidad instalada a ser evitada, la energía calculada previamente (MWh) se divide entre el número de horas-año y el factor de planta (ecuación 4).

$$Capacidad (MW) = \frac{Energía(MWh)}{(horas-año) * (factor de planta)} \quad (4)$$

Los resultados así obtenidos se muestran a continuación en el cuadro 7.

Cuadro 7. *Cálculo de capacidad instalada a ser evitada por medidas de eficiencia energética.*

	MWh	MW
Carbón y sus derivados	13,388,889.0	2,183.45
Gas natural	100,361,111.9	16,366.78
Petrolíferos	25,805,555.76	4,208.34
Biomasa	3,444,444.47	561.72
Total		23,320.29

Fuente: elaboración propia.

Así, al multiplicar la capacidad de generación total por el costo nivelado de generación al 2030, se estima un ahorro de \$43,708.4 millones de dólares. Monto que, al ser sumado al ahorro proveniente de la energía eléctrica evitada, da un total de \$59,457.4 millones de dólares. Para convertir el monto ahorrado de energía por medidas de EE a posibles empleos generados durante el periodo 2016-2030, dado que durante el periodo 2010-2018 el promedio del salario en la industria manufacturera fue de 2.59 dólares la hora (Inegi, 2019), bajo el supuesto de que este salario continúe hasta el 2030, se estima un salario de 7,562.8 dólares/año (2.59 x 8 horas/turno x 365 días).

Por lo tanto, al dividir el monto ahorrado por energía no consumida entre el salario anual de la industria manufacturera, se prevé que durante el periodo 2016-2030 se podrían generar hasta 7,861,825 empleos (561,559 de forma anual) derivados de la implementación de la eficiencia energética en el sector.

A través de la metodología propuesta se han podido obtener los valores potenciales de reducción de emisiones de carbono y creación de empleo, si bien pueden ser valores deseables pueden no ser los que mejor relación riesgo/rendimiento ofrezcan, no obstante, proporcionan información de lo que es posible lograr si se cumplieran las metas propuestas y en qué condiciones.

Por ejemplo, la demanda energética podría disminuir en 56.3 por ciento, lo cual coadyuvaría a la seguridad energética del país y a la posibilidad de que las

fuentes alternas de energía tengan una mayor participación. Respecto al potencial de reducción de emisiones, el valor estimado de 84.5 mt CO₂ contribuiría ampliamente al cumplimiento de la meta propuesta de -8 mt CO₂e del sector industrial al 2030 e inclusive podría aportar a la meta-país de reducción de -210 mt CO₂e (Semarnat, 2015).

En cuanto a la posibilidad de creación de nuevos puestos de trabajo, el valor acumulado a 2030 obtenido en este estudio representa el 87.3 por ciento de los empleos actuales de la industria manufacturera.

CONCLUSIONES

Ante la meta nacional ya definida de EE para el sector industrial, la contribución de este estudio es el de cuantificar el potencial de los beneficios socioambientales de reducción de emisiones (84.5 mt CO₂) y creación de empleos de forma anual (561,559), lo cual permitiría cumplir con los compromisos de carácter internacional de mitigación del cambio climático y de carácter nacional relacionados a la creación de empleos. Es necesario ampliar el estudio de convergencia entre el análisis de ingeniería y el análisis económico para fortalecer los beneficios socioambientales determinados en esta propuesta. También hace falta tener claridad sobre si la ruta planteada para lograr la meta estimada de EE es acorde a las buenas prácticas internacionales validadas, tal como la implementación masiva de sistemas de gestión energética, medidas regulatorias, acciones voluntarias e incentivos financieros, así como metas de participación de la cogeneración de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEEE (2018), *The 2018 International Energy Efficiency Scorecard*, The American Council for an Energy-Efficient Economy, disponible en: <https://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/i1801.pdf>.
- ANIQ (2019), *Estadísticas de la industria química*, Asociación Nacional de la Industria Química, disponible en: <http://www.aniq.org.mx/webpublico/InformacionIQ.asp#home>.
- BIEE (2019), Base de indicadores de eficiencia energética, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, datos estadísticos, disponible en: <http://www.biee-conuee.enerdata.net>.
- Cámara del Papel (2019), Información corporativa, disponible en: <http://camaradelpapel.mx/informacion-corporativa/>.
- Canacero (2019), *México, Programa siderúrgico 2018*, Cámara Nacional del Acero, disponible en: https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico/descargas/infografia_canacero_2019.pdf.

- Cenace (2018), *Informe de la tecnología de generación de referencia. Año de producción 2018. Preliminar oct2018*, Centro Nacional de Control de Energía, disponible en: <https://www.cenace.gob.mx/Docs/MercadoOperacion/TecnologiaGeneracionReferencia/2019/Tecnolog%C3%ADa%20Generaci%C3%B3n%20Referencia%202018%20v2018%2011%2009%20Preliminar.pdf>.
- Cepal (2018), *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México-2018*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43612/1/S1800496_es.pdf.
- CIAL Dun & Bradstreet (2018), *Análisis de la industria de alimentos y bebidas*, México, disponible en: https://www.cialdnb.com/pdf/economic-analysis/food-and-beverages/MEX_Economic-Analysis_ES.pdf.
- CRE (2017), *Factor de emisión del Sector Eléctrico Nacional*, Comisión Reguladora de Energía, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor_de_Emisi_n_del_Sector_El_ctrico_Nacional_1.pdf.
- DOF (2015), *Ley de Transición Energética*. Diario Oficial de la Federación, disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>.
- DUNSKY Energy Consulting (2018), “The economic impact of improved energy efficiency in Canada employment and other economic outcomes from the Pan-Canadian framework’s energy efficiency measures”, disponible en: https://cleanenergycanada.org/wp-content/uploads/2018/04/TechnicalReport_EnergyEfficiency_20180403_FINAL.pdf.
- EIA (2017), *International Energy Outlook 2017*. Washington, DC. U.S. Energy Information Administration, disponible en: www.eia.gov/outlooks/ieo/ieo_tables.php.
- ____ (2019), *Biomass explained. Biomass and the environment*, U.S. Energy Information Administration, disponible en: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/biomass-and-the-environment.php>.
- Inegi (2018), *Colección de estudios sectoriales y regionales. Conociendo la industria automotriz*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825106829.pdf.
- ____ (2019), *Establecimientos manufactureros*, Banco de Información Económica, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10400110#D10400110>.
- ____ (2019), *Productividad. Salarios en la industria manufacturera, países seleccionados*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/default.html?nc=539>.
- Medina, Ana; Cámara, Ángeles y Monrobel, José Ramón (2016), “Measuring the Socio-economic and Environmental Effects of Energy Efficiency Investments for a More Sustainable Spanish Economy”, *Sustainability*, 8 (10), 1039, doi:10.3390/su8101039.
- Ortiz-García, Juan Manuel (2006), “Guía descriptiva para la elaboración de protocolos de investigación”, *Salud en Tabasco*, vol. 12, núm. 3, septiembre-diciembre, 2006, pp. 530-540.

- Salazar, Carolina; Pamplona, Edson y Vidal, Juan Ricardo (2012), “La eficiencia energética como herramienta de gestión de costos: Una aplicación para la identificación de inversiones en eficiencia energética, su evaluación económica y de riesgo”, *Revista Digital del Instituto Internacional de Costos*, núm. extra 1, pp. 48-73.
- Secretaría de Economía (2020), *Industrias Manufactureras*, Data México, disponible en: <https://datamexico.org/es/profile/industry/industrias-manufactureras>.
- Semarnat (2015), *México rumbo a la COP-21*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, disponible en: <http://www.depfe.unam.mx/actividades/15/Paris-2015sem-SEMARNAT.pdf>.
- Sener (2014), *Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*, Secretaría de Energía, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/185047/PRONASE2016OdB04112016concomentariosCCTE_0812116csversionfinalcomprimida.pdf.
- (2017a), *Prospectiva de gas natural 2017-2031*, Secretaría de Energía, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325639/Prospectiva_de_Gas_Natural_2017-2031.pdf.
- (2017b), *Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031*, Secretaría de Energía, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325640/Prospectiva_del_Sector_Elctrico_2017-2031.pdf.
- (2017c), *Prospectiva de energías renovables 2017-2031*, Secretaría de Energía, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325642/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2017-2031.pdf.
- (2018), *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018-2032*, Secretaría de Energía, disponible en: <https://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2018/PRODESEN18.pdf>.
- SIE (2019), *Balance Nacional de Energía: Consumo final de energía por sector*, Sistema de Información Energética. Secretaría de Energía, disponible en: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=IE7Co2>.
- UN (2015), *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>.
- Vaca, Jaime Mario Edmundo y Kido, Antonio (2020), “Estrategia de eficiencia en el consumo de energía eléctrica y mitigación en la estructura productiva de México”, *Contaduría y Administración*, 66 (2), pp. 1-22, doi.org/10.22201/fca.24488410e.2021.2487.
- Vázquez, Belem y Corrales, Salvador (2017), “Industria del cemento en México: análisis de sus determinantes”, *Revista Problemas del Desarrollo*, 188 (48), pp. 113-138.